Radioaktive Emanationen des Bodens der Umgegend von Halle.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen philosophischen Fakultät

der

Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Felix Gube
aus Halle a. S.

Halle a. S.
Buchdruckerei von Heinrich John.
1910.

Referent: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Dorn.

Termin der mündlichen Prüfung: 20. Dezember 1909.

Dem Andenken meiner lieben Eltern!

Inhaltsübersicht.

Seite

A. Einleitung 5
B. Versuchsanordnung 7
C. Untersuchung des Bodens 9
I. Untersuchung der aufgeschlossenen Bodenproben mittels Durchlüftung 9
II. Strutt'sche Methode 14
III. Drahtaktivierungen durch Bodenproben 21
D. Zusammenfassung der Resultate 50

A.

Einleitung.

Als Elster und Geitel[1]) die Aktivität der atmosphärischen Luft untersuchten, fanden sie, dass diese durch die Bodenluft verursacht werde, welche beständig mit radioaktiven Emanationen bereichert aus dem Erdboden empordringt. Zu diesem Ergebnis gelangten sie durch ihre Versuche[2]) in abgeschlossenen Lufträumen, wie in Kellern und Höhlen, in denen sich die ausströmende Emanation ansammeln konnte. Zu gleichem Resultat kamen mittels ähnlicher Versuche Gockel[3]) und Ebert[4]). Ferner war auf Grund umfangreicher Untersuchungen bekannt, dass fast alle Thermal- und Mineralquellen in stärkerem oder geringerem Masse Radiumemanation mit sich führen, und dass sich auch die Sedimente solcher Quellen als intensiv strahlend erweisen. Die Untersuchung von Erd- und Gesteinsproben selbst auf ihre radioaktiven Bestandteile geschah alsdann in grossem Umfange teils nach einer von Elster und Geitel[5]) herrührenden Methode durch

---

[1]) J. Elster und H. Geitel, Phys. Ztschr. 2, pg. 593, 1901.

[2]) " " " " " 2, pg. 116, 1900.
" " " " " 3, pg. 76, 1901.
" " " " " 3, pg. 574, 1902.
" " " Denkschrift der luftelektr. Kommiss. f. d. Versamml. d. kartell. Akademie, München 1903, Ph. Z. 4, pg. 522, 1903.

[3]) Gockel, Phys. Z. 4, pg. 604, 1903.

[4]) Ebert, Denkschrift der luftelektr. Kommiss. f. d. Versammlung der kartell. Akademie. München 1902.
Ebert, Phys. Z. 4, pg. 93, 1902.

[5]) Elster u. Geitel, Phys. Z. 5, pg. 13, 1904.
R. Schenk, Inaugural-Dissertation, Halle 1905.
G. Accolla, N. Cim. (5) 13, pg. 444—449, 1907.
E. Kirchner, Wiss. Beilage z. Jahresbericht d. Realgymn. zu Saalfeld, 1908, pg. 60.

Beobachtung der Zerstreuung in Gegenwart von Erdproben, teils durch Absaugen der Bodenluft und Messung ihrer Jonisation durch Exnersche Elektroskope[1]). Eine weitere Förderung fanden diese Bestrebungen durch R. J. Strutt[2]). Er stellte in den von ihm untersuchten Substanzen das regelmässige Vorkommen von Radium und in einigen auch den Gehalt an Thor fest. Seine Methode ist folgende: Das Mineral oder das Gestein, das untersucht werden soll, wird aufgeschlossen. Aus den erhaltenen Lösungen wird durch Kochen die gesamte Emanation ausgetrieben und aus dem Vergleich ihres Ionisationsvermögens mit dem einer bekannten Radiumemanationsmenge, die in der Probe enthaltene Radiumemanation quantitativ bestimmt. Den Gehalt an Thoremanation stellte er mittels Durchlüftung der Lösungen fest.

Einen bequemeren Nachweis von Emanationen in Luft liefert die Aktivierung von Drähten, die auf hohes negatives Potential geladen sind. Mittels dieser Methode gelangten Dadourian[3]) sowie Elster und Geitel[4]) zu dem Ergebnis, dass sich auch Thoremanation einer weiten Verbreitung erfreue. Eine eingehende Behandlung hatte die Frage nach der Verbreitung des Thors in unseren gewöhnlichen Gesteins- und Bodenarten sowie das Verhältnis seiner Aktivität zu der des Radiums noch nicht gefunden.

Im Verlaufe meiner Untersuchungen über diesen Gegenstand sind einige Veröffentlichungen G. A. Blancs[5]) erschienen, die sich mit derselben Aufgabe befassen. G. A. Blanc hatte bei der Aktivierung von Drähten in der atmosphärischen Luft in Rom gefunden, dass daselbst Thor einen bedeutenden Anteil an der Aktivierung nahm, und zwar 50—70 %, während Dadourian[6])

[1]) Elster u. Geitel, Phys. Z. loc. cit.
H. Ebert u. P. Ewers. Phys. Z. 4, pg. 162, 1902.

[2]) R. J. Strutt, Proceedings of the Royal Society of London, Series A 76, pg. 88—102, 312, 1905. ibid. Ser. A 77, pg. 472—485, 1906. ibid. Ser. A, 78, pg. 150—153, 1907.

[3]) Dadourian, Sill. Journ. 19, pg. 16—22, 1905.
„ „ „ (4) 21, pg. 427—432, 1906.

[4]) Elster und Geitel, Phys. Z. 7, pg. 445, 1906.

[5]) G. A. Blanc, N. Cim. (5) 15, pg. 199—213, 1907.
„ Phys. Z. 9, pg. 294—304, 1908.
„ Atti R. Acc. dei Linc (5) 17, pg. 101—106, 1908.

[6]) Dadourian, Sill. Journ. 25, pg. 335—342, 1908.

für die Luft von Montreal nur einen Anteil von 25—40% feststellen konnte. Er schloss daraus, dass der Boden in Rom besonders reich an diesem Elemente sein musste und fand diese Annahme auch bestätigt.

Auf Anregung und unter steter liebenswürdiger Unterstützung des Herrn Geh. Reg.-Rat Professor Dr. E. Dorn unternahm ich es, den Boden der Umgegend von Halle auf seine radioaktiven Bestandteile zu untersuchen mit besonderer Berücksichtigung seines Gehaltes an Thor.

B.

Versuchsanordnung.

Zur Aufnahme der Emanation oder des aktivierten Drahtes diente ein Messingzylinder von 30 cm Höhe und 11 cm Weite mit einem oberen und unteren Hahnstutzen. In den Zylinder tauchte ein axialer Messingstab. Dieser war von dem Zylinder mittels zweier Ebonitringe und eines Bernsteinstückes isoliert und zur Vermeidung des Überkriechens von Elektrizität durch ein geerdetes leitendes Zwischenstück geschützt. Der Deckel, durch welchen der axiale Stab führte, wurde mit Schraubzwingen unter Einlage einer Gummischeibe an dem Zylinder luftdicht befestigt. Der Zylinder stand auf einer Paraffinplatte und war mit dem positiven Pol einer Akkumulatorenbatterie von 300 Volt (Patent Klingelfuss) verbunden. Der negative Batteriepol war geerdet. Der axiale Messingstab war mit einem Quadrantenpaar eines Dolezalek'schen Elektrometers verbunden, während das zweite Quadrantenpaar an Erde gelegt war. Der Verbindungsdraht von Stab und Quadrantenpaar befand sich in Paraffin gebettet in einem geerdeten Messingrohr. Die Nadel wurde durch eine Krügersche Batterie von Cd-Elementen, die in Paraffin eingeschmolzen sind und deren Potential von der Temperatur völlig

unabhängig ist, konstant auf 40 Volt geladen. Das Leitvermögen des Quarzfadens des Elektrometers war durch Eintauchen in Chlorkalziumlösung bewerkstelligt und brauchte im Verlauf der Versuche nur einmal erneuert zu werden. Die Kapazität des Systems (1 Quadrantenpaar, axialer Stab und Verbindungsdraht) betrug 46,19 cm = 0,00005127 Mikrofarad. Sie wurde mit Hilfe eines Harms'schen Kondensators nach dem Prinzip der Ladungsteilung ermittelt[1]).

Mittels dieser Versuchsanordnung wurde der Sättigungsstrom gemessen, welcher nach Abzug der spontanen Jonisation, d. h. des Anteiles, welcher von der natürlichen Aktivität der atmosphärischen Luft herrührt, der im Zylinder vorhandenen Strahlung proportional war. Die Ablesung erfolgte mittels Spiegel und Skala. Diese wurde mit mehreren Latimer Clark-elementen geeicht und alle Skalenablesungen korrigiert. Vor jedem Versuch wurde ferner die Empfindlichkeit des Elektrometers bestimmt. Sie betrug im allgemeinen 122 Skalenteile für ein Volt.

Schwierigkeit bereitete die Ermittelung der im Zylinder vorhandenen spontanen Jonisation bei Versuchen mit aktivierten Drähten. Während nämlich die natürliche Zerstreuung bei Durchlüftungsversuchen annähernd konstant war, desgleichen auch wenn der Zylinder eine Zeit lang verschlossen gestanden hatte, nämlich 3 bis 4 Skalenteile pro Minute, ergaben sich nach Abheben und Schliessen des Deckels — und dieses war erforderlich, um den aktivierten Draht hineinzubringen — abnorm hohe Werte, nämlich das 20- bis 60-fache der normalen Zerstreuung. Diese hohe anfängliche Zerstreuung fiel rasch ab und zwar in durchaus regelmässigem Verlauf, jedoch nicht nach einem Exponentialgesetz. Eine Regelmässigkeit dieser Erscheinung, etwa gleiche Anfangsintensitäten oder gleicher Abfall, liess sich auf keine Weise erreichen. Wegen der Unkontrollierbarkeit dieser Anfangswerte musste ich auf die Verfolgung des Aktivitätsabfalls von Radium A, der sich nur in den ersten Minuten verfolgen lässt, von vornherein verzichten. Im allgemeinen war die Zerstreuung um so grösser und erreichte ihren stationären Wert um so langsamer, je länger die Öffnungsdauer war. Bei meinen Versuchen hielt

[1]) Harms, Phys. Z. 5, 1904, pg. 47. Ann. d. Phys. 10, 1903, pg. 816.

ich stets eine solche von 20 Sekunden inne. Der Abfall dieser Zerstreuung nach Öffnen und Schliessen des Zylinderdeckels ist durch die Kurven der Figur 2 wiedergegeben. Vermutlich ist diese Erscheinung auf Staubwirkung zurückzuführen.

C.

Die Untersuchung des Bodens.

I. Untersuchung der aufgeschlossenen Bodenproben mittels Durchlüftung.

Die zu untersuchende Probe musste vollständig aufgeschlossen werden. Wurde in den erhaltenen Lösungen radioaktive Emanation entwickelt, so konnte sie durch einen Luftstrom, welcher durch die Lösung geleitet wurde, in den Zerstreuungszylinder geführt und daselbst ihre ionisierende Wirkung durch den Sättigungsstrom gemessen werden.

Den Luftstrom erzeugte ich zuerst durch zwei Mariottesche Flaschen von je 10 Liter Inhalt. Da jedoch nach beendigtem Ausfluss die Flaschen umgewechselt werden mussten, zog ich es später vor, ein Handgebläse zu verwenden. Durch einige Übung erreichte ich hinreichend konstante Luftströme. Die Verwendung des Handgebläses hatte den Vorteil, dass ich bei weitem stärkere Ströme erzielte, nämlich 4,2 Lt in der Minute, während die Flaschen nur 0,69 bis 0,95 Lt Luft pro Minute durch die Lösungen zu treiben vermochten. Die verschiedenen Werte waren durch die verschiedene Höhe der zu durchlüftenden Flüssigkeitssäulen bedingt.

Der Luftstrom führte vom Gebläse (Flaschen) in die Lösungen. Diese wurden teils in ganz verblasenen Gaswaschflaschen, teils in Gläsern aufbewahrt, die durch paraffinierte Korke luftdicht verschlossen waren. Die aus den Lösungen kommende Emanation

haltige Luft wurde durch Schwefelsäure, Ätzkali oder Chlorkalzium getrocknet und durch einen Wattepfropf von Staub und etwa vorhandenen Ionen befreit. So gereinigt gelangte sie in den Zylinder und von diesem in geschlossenem Kreislauf zum Gebläse zurück. (Fig. 1.)

Da nach den Ergebnissen Schenks[1]) von den in der Umgegend von Halle auftretenden Bodenarten Kaolin die stärkste Radioaktivität besitzt, wurde mit der Aufschliessung dieses Materials begonnen. Sie geschah auf folgende Weise. Eine Probe des Kaolin — bei den Durchlüftungsversuchen waren es Mengen von 2—10 g — wurde im Porzellantiegel geglüht und alsdann mitsamt den Quarzkristallen in einem Achatmörser zu Mehl zerrieben. Dieses Pulver wurde mit der 12- bis 14-fachen Menge Kaliumhydrosulfat ($KHSO_4$) in einem Platintiegel ganz langsam geschmolzen, bis aus der klaren Schmelze keine Bläschen mehr aufstiegen. Die Schmelze wurde nach erfolgter Abkühlung mit Tiegel und Deckel in ein Becherglas mit Wasser gebracht und auf dem Wasserbade erwärmt. Darauf wurde abfiltriert, der Rückstand mit 2 Teilen Wasser und 1 Teil Salzsäure versetzt und wieder erwärmt. Das Filtrat dieser Lösung wurde mit dem ersten zusammengegossen, ohne dass eine Fällung eintrat. Diese Lösung I enthielt die Alkalien, Magnesium und die Erden als Sulfate. Das Filter mit dem Rückstand, der hauptsächlich aus feinpulveriger Kieselsäure (SiO_2) und möglicherweise aus den Sulfaten der alkalischen Erden (Ca, Sr, Ba) bestand, wurde verascht und mit etwa dem Siebenfachen von Soda und Pottasche in äquivalenten Mengen geschmolzen. Die Schmelze löste sich vollständig in kaltem Wasser. (Lösung II.)

Bei den Versuchen wurde zuerst im Durchlüftungskreis die Lösung durch destilliertes Wasser ersetzt. Dann wurde die Durchlüftung in Gang gesetzt und der Sättigungsstrom während der Durchlüftung und unmittelbar nach Aufhören derselben gemessen. Die gefundenen Werte werden als spontane Ionisation von denjenigen in Abzug gebracht, die bei der Durchlüftung der aktiven Lösungen beobachtet werden. Das sich hierbei ergebende Plus kommt als Wirkung der radioaktiven Emanationen in Betracht. Enthält die Lösung nur Radiumemanation, so wird der Sättigungs-

[1]) R. Schenk, Dissert. Halle 1905.

strom nach Unterbrechung der Durchlüftung zunächst 3 Stunden langsam zunehmen, bis das radioaktive Gleichgewicht zwischen Emanation und dem aus dieser entstehenden aktiven Niederschlag hergestellt ist, d. h. bis ebensoviel Teilchen des aktiven Niederschlages pro Sekunde zerfallen, als neue aus der Emanation gebildet werden. Ist dieser Zustand erreicht, so muss die Aktivität, d. h. der Sättigungsstrom nach dem Zerfallsgesetz der Radiumemanation sinken, also in 3,7 Tagen den Halbwert erreichen. Befindet sich in der Lösung nur Thoremanation, so muss nach Aufhören des Luftstromes der Sättigungsstrom sofort sinken, und zwar entsprechend der kurzen Lebensdauer dieser Emanation in 54 Sek. auf den halben Wert. Sind beide Emanationen zugegen, so muss in den ersten 10 Minuten ein rascher Abfall nach den Zerfallsgesetzen der Thoremanation und hernach der für die Radiumemanation charakteristische erfolgen.

Die Versuche.

Ein erster Versuch versprach grosse Ausbeute, war aber vielleicht durch zufällige Beimengung einer fremden Substanz gestört. Der erste einwandfreie Versuch geschah mit der Aufschliessung von 2,11 g Kaolin.

Lösung I.

Durchlüftung mittels der Mariotte'schen Flaschen, Stärke des Luftstromes: 0,78 l in 1 Min.

1 Tag nach Abkochen der Lösung:
spontane Zerstreuung: 3,58 Sktl. in 1 Min.
Sättigungsstrom beim Durchlüften der Lösung I: 11,40 Sktl.
Wirkung der Emanation: 7,82 Sktl in 1 Min.

4 Tage nach Abkochen der Lösung:
spontane Zerstreuung: 3,56 Sktl. in 1 Min.
während des Durchlüftens der Lösung: 14,38 Sktl.
Wirkung der Emanation: 10,82 Sktl. in 1 Min.

Die Aktivität hatte also zugenommen, wie zu erwarten war.

Unmittelbar nach Aufhören der Durchlüftung ergaben sich nach Abzug der spontanen Zerstreuung

in der 1. Minute 8,6 Sktl.
„ „ 2. „ 4,0 „
„ „ 3. „ 2,2 „

Dieser Abfall würde der Thoremanation entsprechen.

Bei Anwendung des Handgebläses waren die Werte der Zerstreuung etwas niedriger. Sie betrugen:
während der Durchlüftung von destill. Wasser: 1,7 Sktl. in 1 Min.
nach Aufhören der Durchlüftung 1,56 Sktl. in 1 Min.
während der Durchlüftung der Lösung I:

Zeit in Min.	Gesamtausschlag	Nach Abzug der spont. Zerstreuung
1	9,4 Sktl. i. 1 Min.	7,7 Sktl. i. 1 Min.
2	8,8 „ „	7,1 „ „
3	8,8 „ „	7,1 „ „
4	8,9 „ „	7,2 „ „
5	8,2 „ „	6,5 „ „
6	7,2 „ „	5,5 „ „
7	6,9 „ „	5,2 „ „
8	8,1 „ „	6,4 „ „
9	7,8 „ „	6,1 „ „
10	7,3 „ „	5,6 „ „

Unmittelbar nach der Unterbrechung des Luftstromes betrug der Gesamtausschlag:

Zeit in Min.	Sktl. in 1 Min.	Zeit in Min	Sktl. in 1 Min.
1	6,3	6	1,1
2	3,9	7	1,9
3	2,4	8	1,6
4	2,7	9	1,9
5	1,8	10	1,3

Da bei den niedrigen Werten die Schwankungen des Elektrometers die Übersichtlichkeit stören, fassen wir immer je 5 Werte

zusammen, also den 1. bis einschl. 5., 2. bis 6. usw. Wir erhalten alsdann:

Totalausschläge in 5 Min.	Dasselbe nach Abzug der spont. Zerstreuung
17,1 Sktl.	9,3
11,9 „	4,1
9,9 „	2,2
9,1 „	1,3
8,3 „	0,5
7,8 „	0

Ein späterer Versuch mit derselben Lösung ergab folgendes:

Emanationswirkung während der Durchlüftung (nach Abzug der spontanen Ionisation): 7,1 Sktl. in 1 Min.

Desgleichen unmittelbar nach Unterbrechen der Durchlüftung, wobei wieder der Ausschlag während der 1.—5., 2.—6. Min. usw. zusammengefasst ist.

12,2
7,2
3,9
1,9

Ein sogleich wiederholter Versuch ergab
während der Durchlüftung: 8,1 Sktl. in 1 Min.
unmittelbar nach Aufhören derselben (5 Minuten Werte, abzügl. der spontanen Ionisation):

13,9
6,4
3,1
1,0
—0,1
0,5

Alle diese Abklingungsversuche erwecken den Anschein der Anwesenheit von Thoremanation.

Die Untersuchung der Lösung II hatte folgendes Ergebnis:
während der Durchlüftung (mittels Flaschen, in 1 Min. 0,73 l)
von destill. Wasser 17,5 Sktl. in 5 Min.
der Lösung II 21,2 „ „ 5 „

mithin entfällt auf die Emanation der Anteil von 0,74 Sktl. in 1 Min.

Welcher Art diese Aktivität ist, konnte wegen der schwachen Wirkung nicht festgestellt werden.

Aufschliessung von 11 g Kaolin.

Bei Anwendung der Flaschendurchlüftung übertraf der Sättigungsstrom während der Durchlüftung destillierten Wassers den bei Lösung I beobachteten um ein Geringes, nämlich um 0,5 Sktl. in 5 Min.

Bei Gebrauch des Handgebläses ergab sich

für Wasser 23,5 Sktl. in 10 Min.
für d. Lösung I 33,2 „ „ 10 „

also für die Lösung ein Plus von 0,97 Sktl. in 1 Min.
Lösung II war durch ein Versehen unbrauchbar geworden.

Eine neue Aufschliessung von 5 gr der gleichen Substanz lieferte ebenfalls ungünstige Resultate. Die Emanationswirkung der Lösung I belief sich auf 2 bis 6 Sktl. in 1 Min., während sich Lösung II als völlig unaktiv erwies. Ich führte ferner noch 4 solche Aufschliessungen quantitativ durch, bei welchen mich Herr cand. chem. Stoltzenberg in dankenswerter Weise unterstützte. Es wurden in jedem Falle 2 gr Substanz verarbeitet und die Lösungen waren vollständig klar. Auch diesmal ergaben sich die Lösungen II als unaktiv, während der Durchlüftung der Lösungen I ein Ansteigen des Sättigungsstromes um höchstens $^1/_2$ Sktl. in der Minute bewirkte.

In Lösung I liess sich also mittels der Durchlüftungsmethode wohl Emanation nachweisen, die Intensität der Strahlung war jedoch zu gering, als dass sie einen sicheren Schluss auf die Art der Aktivität zugelassen hätte. Ich wandte mich daher der Methode von R. J. Strutt zu.

II. Strutt'sche Methode.

Um die Wirkung zu verstärken, wurde eine Kaolinprobe von 50 gr analog der früheren Behandlungsweise aufgeschlossen. Die wässerige und salzsaure Lösung der ersten Schmelze wurden

jedoch nicht zusammengegossen. Im folgenden bezeichne ich die wässerige Lösung mit Lösung I, die salzsaure als Lösung II und diejenige der Alkalikarbonate als Lösung III. Die Aufschliessung war nicht quantitativ. Analog diesen drei Lösungen wurden 3 ebensolche ohne Kaolin hergestellt, sie seien Io, IIo, IIIo benannt. Der Untersuchungsapparat entsprach bis auf eine kleine Aenderung dem von R. J. Strutt[1]) angewandten. (Fig. 3). Im Literaturnachweis unter No. 14.

Die die Lösungen enthaltenden Kochflaschen wurden mittels Gummistopfens an ein u-förmiges Glasrohr befestigt, welches am anderen Ende durch einen Hahn 1 verschliessbar war. Unterhalb des Hahnes folgt ein T-Stück, dessen seitlicher Ansatz einen Hahn 2 trug. Der nach unten gerichtete Teil endete in einen Glaskolben K_1, welcher durch einen Gummischlauch kommunizierend mit einem gleichen K_2, verbunden war. In diesen Kolben K_2 wurde destilliertes Wasser eingelassen, sodass es bei gleicher Höhe der beiden Kugeln diese halb füllte. Durch Heben des Kolbens K_2 konnte man das Wasser bis zum T-Stück steigen lassen. Wurde nun Hahn 2 geschlossen und der bewegliche Kolben so tief als möglich gesenkt, so entstand über dem destillierten Wasser und nach Oeffnen des Hahnes 1 auch in der Kochflasche Unterdruck, und man konnte die Lösung gefahrlos kochen. Ein Ueberdestillieren der Lösung wurde durch einen Liebig'schen Wasserkühler, der oberhalb der Kochflasche das u-Rohr umgab, verhindert. Da in der Kochflasche starke Luftverdünnung entstand, sammelte sich die aus der Lösung ausgetriebene Emanation im Kolben K_1 an. Den Rest der noch in der Kochflasche und im u-Rohr befindlichen Emanation spülte man zum Schluss durch Abstellen der Kühlvorrichtung in den Sammelkolben hinüber und schloss Hahn 1. Nun wurde mit dem Kolben K_2 Ueberdruck gegeben und Hahn 2 geöffnet. Alsdann drückte das Wasser die Emanation durch eine kleine Glaskugel, welche zur Aufnahme etwa nachstürzenden Wassers bestimmt war, eine Chlorkalziumröhre und ein Watterohr in den Messingzylinder, welcher zuvor auf $^2/_3$ Atmosphäre evakuiert worden war. Lösung der Schlauchverbindung bei Hahn 2 ermöglichte das Nachströmen der Luft, welche die in

[1]) R. J. Strutt, Proc. R. Soc. London (A) 77, 475, 1906.

den Verbindungsteilen befindliche Emanation mit sich riss und den Druckausgleich im Zylinder herstellte. Befand sich in der Kochflasche die salzsaure Lösung II, so wurde anstatt der kleinen Kugel ein U-Röhrchen mit Bimsteinstückchen und Ammoniak in den Emanationsweg eingeschaltet, um die Chlordämpfe zu beseitigen. Nach erfolgtem Kochen wurden die Kochflaschen mit den Lösungen vom Apparat abgenommen und mit Gummistopfen verschlossen.

Das Auskochen hat vor dem Durchlüften den Vorzug, dass es die Emanation viel vollkommener aus den Lösungen austreibt, während der beim Durchlüften in der Lösung verbleibende Bruchteil gemäss dem Henry-Dalton'schen Gesetz ziemlich bedeutend ist.

Die Versuche.

Lösung Io 1 Std. gekocht, Luft im Zylinder aufgenommen
Zerstreuung $3^1/_2$ Stunden nach Einführung der Luft: 123,1 Sktl. in $^1/_2$ Std.
Elektrometerempfindlichkeit: 126,6 Sktl. pro 1 Volt
19 Stunden 4 Min. später: 132,0 Sktl. in $^1/_2$ Std.
Empfindlichkeit: 126,7 Sktl. pro 1 Volt.

Lösung I ergab am folgenden Tage:
$3^1/_2$ Stunden nach Ueberführung der Emanation: 314,6 Sktl. in $^1/_2$ Std.
Empfindlichkeit: 126,5 Sktl. pro Volt.
19 Stunden 4 Min. später: 288,7 Sktl. in $^1/_2$ Std.
Empfindlichkeit: 126,0 Sktl.

Bringen wir die für Io gefundene Zerstreuung von der für I ermittelten in Abzug, so ergibt sich nach dem Gesetz der Radioaktivität:

$$\frac{J_t}{J_o} = e^{-\lambda t}$$

für die Abfallkonstante λ

$$\lambda = 2{,}847 \times 10^{-6} \text{ sec}^{-1}$$

ein Wert, der dem der Radiumemanation zugehörigen $\lambda = 2{,}1 \times 10^{-6}$ sehr nahe kommt. Noch bessere Uebereinstimmung erzielen wir, wenn wir statt der beiden für Lösung Io gefundenen Werte jedesmal ihren Mittelwert 127,5 in Abrechnung bringen. Alsdann ist:

$$\lambda = 2{,}157 \times 10^{-} \text{ sec}^{-1}$$

Lösung IIo.

Die Ablesungen wurden auf die vorige Empfindlichkeit reduziert um bessere Vergleichszahlen zu erhalten. Die Zerstreuung betrug:
3 Stunden nach Beendigung des Kochens 137,55 Sktl. in $^1/_2$ Std.
$20^1/_2$ Std. später 116,47 Sktl. in $^1/_2$ Std.

Lösung II ergab:

3 Std. nach Aufnahme der Emanation 517,16 Sktl. in $^1/_2$ Std.
$20^1/_2$ Std. später 442,01 Sktl. in $^1/_2$ Std.
Hieraus folgt mittels der gleichen Berechnung, wie sie für die Lösung I angestellt wurde

$$\lambda = 2{,}0823 \times 10^{-6} \text{sec}^{-1}$$

Bringt man statt der Einzelwerte wieder das Mittel der spontanen Zerstreuungen, 127,01 Sktl. in Abzug, so ergibt sich für die Abklingungskonstante

$$\lambda = 2{,}90 \times 10^{-6} \text{sec}^{-1}$$

Lösung IIIo.

Sie wurde $1^3/_4$ Std. gekocht. 3 Std. nach Ueberführung der ausgetriebenen Luft in den Messingzylinder ergab die Zerstreuungsmessung 57,4 Sktl. in $^1/_2$ Std.
$13^1/_2$ Std. später 57,3 Sktl. in $^1/_2$ Std.
Lösung III wurde gleichfalls $1^3/_4$ Std. gekocht. Sie ergab nach 3 Std. 14 Min. 74,4 Sktl. in $^1/_2$ Std.
18 Std. nach dieser Messung 85,7 Sktl. in $^1/_2$ Std.

Der Emanation würde also für den ersten Zeitpunkt eine Zerstreuung von 17,0 Sktl. in $^1/_2$ Std. zukommen und 18 Std. darauf 28,3 Sktl. Der Anstieg der Jonisation kann wohl nur äusseren Einflüssen zugeschrieben werden. Jedenfalls aber steht der Emanationsgehalt dieser letzten Lösung demjenigen der beiden anderen Lösungen sehr nach, wie nach den Ergebnissen der Durchlüftungsversuche zu erwarten war.

Nehmen wir an, dass drei Stunden nach Einlassen der Emanation in den Zylinder das radioaktive Gleichgewicht eingetreten ist, die Zerstreuung also ihren maximalen Wert erreicht hat, so können wir den Sättigungsstrom der von 50 gr Kaolin gelieferten Radiumemanation auf folgende Weise berechnen:

Lösung I.
191,5 Sktl. bei 1 Volt = 126 Sktl., also in $^1/_2$ Std. = 1,5198 Volt
Lösung II.
379 Sktl. bei 1 Volt = 121 Sktl., „ $^1/_2$ „ = 3,1372 Volt
Lösung III.
17,0 Sktl. bei 1 Volt = 121 Sktl., „ $^1/_2$ „ = 0,1405 Volt

Die ganze Aufschliessung in $^1/_2$ Std. = 4,80 Volt
in 1 Sek. = 0,002665 Volt

Da die Kapazität des Systems $0{,}0_4 5127$ Mikrofarad ist, erhalten wir einen Strom von
$0{,}0_4 5127$ Mikrfd. $\times$ $0{,}0_2 2665$ Volt Sek^{-1} = $0{,}0_6 1366$ Mikroampere.

Nach der eben behandelten Strutt'schen Methode konnte man die gesamte Radiumemanation aus den Lösungen austreiben und im Zylinder untersuchen. Die Thoremanation aber musste, falls sie vorhanden war, in der Zeit, welche man benötigte, um den Zylinder vom Kochapparat zu lösen und an das Elektrometer anzuschliessen, längst abgeklungen sein. Mittels der Durchlüftungsmethode musste sie jedoch zu konstatieren sein, wenn zuvor durch längeres Kochen die Radiumemanation beseitigt war.

Versuch: Lösung I wurde wiederholt lebhaft gekocht. 4 Stunden nach Aufhören des Kochens — in dieser Zeit hatte sich die Lösung ziemlich abgekühlt — wurde sie mittels des Handgebläses durchlüftet. Es ergab sich absolut keine Zunahme des Jonisationsstromes. Das gleiche stellte sich bei einem Versuch mit Lösung III heraus. Nur für Lösung II (salzsaure Lösung) gelang es nach dem Kochen Aktivität nachzuweisen. Zunächst wurde ein Luftstrom durch destilliertes Wasser hindurchgetrieben. Die dabei beobachtete Zerstreuung betrug 7,0 Sktl. in 10 Min., also 0,7 Sktl. in 1 Min. Nach Aufhören der Durchlüftung wurden für die nächsten 10 Min. folgende Ausschläge beobachtet:

Zeit in Min.	Sktl. in 1 Min.	Zeit in Min.	Sktl. in 1 Min.
1	0,7	6	0,8
2	0,7	7	0,2
3	0,7	8	0,2
4	0,6	9	0,9
5	0,2	10	0,8

Also in den ersten 5 Min. 2,9 Sktl., in den zweiten 3,0 Sktl.; also in 1 Min. 0,6 Sktl.

Lösung II wurde 4 Std. 8 Min. nach Aufhören des Kochens 10 Min. lang durchlüftet. Der Sättigungsstrom ergab hierbei:

Zeit in Min.	Sktl. in 1 Min.	Zeit in Min.	Sktl. in 1 Min.
1	2,0	6	3,9
2	2,6	7	3,5
3	3,1	8	2,5
4	4,4	9	3.1
5	4,1	10	3,6

Der Sättigungsstrom betrug also jetzt durchschnittlich 3,28 Sktl. Min.$^{-1}$, d. h. die Emanation selbst erzielte einen Ausschlag von 2,58 Sktl. in 1 Min.

Sofort nach Aufhören der Durchlüftung wurde weiter beobachtet:

Zeit in Min.	Sktl. in 1 Min.	Zusammenfassung der Werte 1—5, 2—6 usw.	Dasselbe abzüglich der spontanen Jonisation
1	3,6		
2	1,7		
3	0,7	7,9	4,9
4	0,2	5,2	2,2
5	0,7	4,5	1,5
6	0,9	4,4	1,4
7	1,0	4,1	1,1
8	0,6	3,9	0,9
9	0,9		
10	0,5		

Ein sogleich wiederholter Versuch ergab:

während der Durchlüftung:

Zeit in Min.	Sktl. in 1 Min.	Zeit in Min.	Sktl. in 1 Min.
1	2,0	6	3,7
2	3,1	7	4,0
3	4,6	8	4,2
4	2,9	9	2,9
5	3,4	10	3,1

also 3,39 Sktl. in 1 Min. oder abzüglich der spontanen Zerstreuung 2,69 Sktl. in 1 Min.

Unmittelbar nach der Durchlüftung ergab sich:

Zeit in Min.	Sktl. in 1 Min.	Zusammenfassung der Werte 1—5, 2—6 usw.	Dasselbe abzüglich der spontanen Jonisation
1	2,7		
2	1,9		
3	1,4	7,6	4,6
4	0,9	5,5	2,5
5	0,7	4,6	1,6
6	0,6	4,0	1,0
7	1,0	3,8	0,8
8	0,8	3,8	0,8
9	0,7		
10	0,7		

Wir sehen also, dass sich in beiden Versuchen mit Lösung II eine Aktivität sehr wohl wahrnehmen liess, welche nach Aufhören des Luftstromes sehr rasch verschwand, und zwar ganz ähnlich wie die Thoremanation in der Minute auf den Halbwert sank.

III. Drahtaktivierung durch Bodenproben.

Die bisherigen Untersuchungsmethoden hatten zwar ergeben, dass Kaolin zwei radioaktive Bestandteile enthält, Radium sowohl als auch Thor, doch nahm ich davon Abstand, weitere Substanzen auf die gleiche Weise zu untersuchen. Denn wenn der Nachweis von Radium auch verhältnismässig leicht war und auch Thor noch konstatiert werden konnte, so war doch in Erwägung zu ziehen, dass wir im Kaolin eine stark radioaktive Bodenart vor uns hatten; Aufschliessungen von noch voluminöseren Mengen durchzuführen war aber praktisch unmöglich.

Deshalb wandte ich mich der Aufgabe zu, die im Boden enthaltenen Emanationen aus ihren radioaktiven Niederschlägen nachzuweisen, die sich vorzugsweise auf negativ geladenen Drähten von hoher Spannung absetzen. Ich bediente mich hierbei folgender, von Geh.-Rat Professor Dr. Dorn schon früher benutzten Methode.

Die zu untersuchende Substanz wird möglichst gleichmässig in einem Zinkrohr (Abfallrohr) ausgebreitet. Um dieses Rohr bequem füllen zu können, ist es aus mehreren Stücken zusammenzusetzen, welche je ein Meter lang sind und 12 cm im Durchmesser haben. Zusammengefügt hatte die ganze Röhre eine Länge von 5,60 m. Die Fugen wurden mit Papier verklebt. An die Enden dieser Röhre wurde je eine starke Glasplatte angekittet, welche in der Mitte ein kreisförmiges Loch hatte. In dieses wurde ein Ebonitscheibchen eingepasst und durch dieses führte der 0,4 mm dicke Draht, der durch Klemmen völlig straff gespannt wurde. Die Einführung des Drahtes musste sehr vorsichtig unter ständiger Straffhaltung erfolgen, da beim Berühren des Bodens Teile der Probe an ihm haften geblieben wären und somit eine unerwünschte Strahlungsquelle in den Untersuchungszylinder eingeführt worden wäre. Der Draht wurde von einer Akkumulatorenbatterie auf ein negatives Potential von 600—700 Volt geladen, während die Röhre mit dem positiven Pol der Batterie verbunden war. Ein Braun'sches Voltmeter diente zur Kontrolle der Batterie. Nach jedem Versuch wurde die Röhre sorgfältig gereinigt.

Vor dem Versuch wurden von der Bodenprobe $6^1/_4$ kg, wenn nötig fein zerkleinert, in der Röhre ausgebreitet. Sodann wurde der Draht eingezogen, welcher mindestens 2 Tage in der Röhre ausgespannt blieb. Die Herausnahme geschah gleichfalls mit grösster Vorsicht, und zwar wurde er hierbei auf ein aus Messingstäben bestehendes zylindrisches Gestell aufgewunden, welches genau in den Messingzylinder passte. Hierin wurde das Abklingen des aktiven Niederschlages beobachtet.

Jedem Versuche ging die Bestimmung der spontanen Jonisation vorher und hierbei trat die eingangs erwähnte Erscheinung zu Tage, dass die Zerstreuung unmittelbar nach Schliessen des Deckels abnorm hohe Werte annahm, die sehr schnell und regelmässig abklangen. Da die Anfangsintensitäten dieser spontanen Jonisation stark variierten, waren die Ablesungen unmittelbar nach Einführen des Gestells mit dem aufgewundenen Draht unbrauchbar. Aber schon nach 10 Min. konnte man brauchbare Ablesungen erhalten, da sich für diese Zeit bei genauer Innehaltung einer Oeffnungsdauer von 20 Sekunden gute Mittelwerte für die natürliche Zerstreuung aufstellen liessen. Eine Beobachtung der Aktivität von Ra A, welches in drei Minuten den Halbwert erreicht, war daher unmöglich, zumal da vom Aufwinden des Drahtes — die Röhre war auf dem Boden des Physikalischen Instituts aufgebaut — bis zur Einführung in den Zylinder mindestens 6 Minuten nötig waren. Der Regelmässigkeit halber richtete ich es ein, dass vom Abnehmen der Akkummulatorenbatterie bis zum Schliessen des Deckels 9 Minuten vergingen und ich mit der vollendeten 10. Minute die Erdung des mit dem Zylinder verbundenen Quadrantenpaares löste. Die Beobachtungen dauerten 5 Minuten lang und wurden alle 10 Minuten neu begonnen. Die erhaltenen Ablesungen wurden zunächst mittels der Skaleneichung korrigiert. Sodann wurde der vorher ermittelte Betrag der im Zylinder vorhandenen spontanen Zerstreuung in Abzug gebracht. Endlich wurde auch noch die Wirkung des aktiven Niederschlages abgerechnet, welcher sich aus der atmosphärischen Luft in der Röhre auf dem Draht absetzen konnte, der also nicht aus der Bodenprobe stammte. Durch einige Versuche bei leerer Röhre wurde diese Wirkung ermittelt.

Die Berechnung der Versuche.

An der Aktivierung des Drahtes mussten sich alle in der Bodenprobe enthaltenen Emanationen beteiligen. Von bekannten Emanationen kamen also die des Radium, des Thor und vielleicht auch die des Aktinium in Betracht. Der aktive Niederschlag auf dem Drahte konnte also sehr komplexer Natur sein. Diese komplexe Strahlung ist jedoch mit der von Rutherford aufgestellten Theorie der radioaktiven Umwandlungsreihen gut zu analysieren. An dieser Stelle möge kurz auf den Verlauf des Umwandlungsprozesses hingewiesen werden, um zu zeigen, wie trotz der Übereinanderlagerung der verschiedenen Umwandlungsprodukte die jedem Element zukommende Wirkung für sich berechnet werden kann. Da sich die gesamte Wirkung, wie sich später herausstellte, schon durch die Anwesenheit von Radium und Thor erklären lässt, soll auch hier nur auf die Umwandlung dieser beiden Radioelemente Rücksicht genommen werden. Es soll damit nicht das absolute Fehlen von Aktiniumemanation behauptet werden. Da jedoch die Aktivität des Aktiniumniederschlages in fast derselben Zeit auf den Halbwert sinkt wie die des Radium, ist bei dem verhältnismässig grossen Spielraum, den die Beobachtungswerte dem Legen von Aktivitätskurven lassen, eine Trennung beider Aktivitäten fast ausgeschlossen, zumal die Wirkung von Aktinium gegenüber derjenigen von Radium gering erscheinen muss.

Wir haben also auf dem Draht die Produkte RaA, RaB, RaC, ThA, ThB und ThC zu erwarten. Die weiteren Umwandlungsstufen des Radium kommen für uns nicht mehr in Betracht, da ihre Aktivität im Vergleich zu derjenigen der drei ersten verschwindend gering ist. Wir haben es daher nur mit zwei Umwandlungsreihen zu je drei Gliedern zu tun, brauchen also auch in der Rechnung über drei Substanzen nicht hinauszugehen.

Für die Entwicklung der Formeln verweise ich auf Gruner, Ann. d. Phys. 19, 169, 1906 und die zusammenfassende Darstellung in Kohlrausch, Lehrbuch der prakt. Phys., 11. Auflage, pg. 651 ff.

Da wir mit Rutherford einen monomolekularen Prozess voraussetzen, also die Annahme machen, dass aus jedem zer-

fallenden Atom bloss ein neues entsteht[1]), können wir alle in den Grunerschen Formeln auftretenden ν gleich 1 setzen. Ferner haben wir zu beachten, dass der Draht in der Zinkröhre ausgespannt blieb, bis das radioaktive Gleichgewicht eingetreten war und dann erst von der Primärsubstanz (Emanation) entfernt wurde. Wir haben mithin den bei Kohlrausch, Lehrb. d. prakt. Physik, 11. Aufl., pg. 652, unter No. III angeführten Fall vor uns. Es muss daher in den Grunerschen Formeln $\Theta = \infty$ gesetzt werden. Wir erhalten somit nach Ablauf der Zeit t seit Beendigung der Aktivierung für drei aus einer Primärsubstanz entstehende Umwandlungsprodukte, z. B. RaA, RaB, RaC, die Wirkung

$$J = n_1 \left[\left(k_1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} k_2 + \frac{\lambda_2 \lambda_3}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} k_3 \right) e^{-\lambda_1 t} + \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} k_2 + \frac{\lambda_1 \lambda_3}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} k_3 \right) e^{-\lambda_2 t} + \frac{\lambda_1 \lambda_3}{(\lambda_2 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} k_3 \cdot e^{-\lambda_3 t} \right]$$

Hierin bedeutet

n_1 die von der Primärsubstanz in der Sekunde gelieferte Atomzahl des ersten Umwandlungsproduktes,

$\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3$ Die Abklingungskonstanten (Wandlungskonstanten) der drei Produkte,

$k_1 k_2 k_3$ Proportionalitätsfaktoren, mit welchen die Anzahl der zu einer Zeit t sich umwandelnden Atome einer jeden Substanz zu multiplizieren ist, um ihre ionisierende Wirkung zu erhalten[2]).

Dieser Ausdruck für J hat die Form:

$$J = k_1 A + k_2 B + k_3 C$$

Für die Zeit $t = 0$, d. i. zur Zeit des radioaktiven Gleichgewichts, es ist: $A = B = C = n_1$

mithin die Wirkung zu dieser Zeit:

$$J_0 = n_1 k_1 + n_1 k_2 + n_1 k_3$$

$$n_1 = \frac{J_0}{k_1 + k_2 + k_3}$$

[1]) Anm. während des Druckes: Vergl. neuere Untersuchungen über Thor und Akt., Geiger und Marsden, Phys. Ztschr. 11, 1910, pg. 7. Diese Arbeit konnte nicht mehr benutzt werden, hätte jedoch keine Änderung der Ergebnisse bedingt.

[2]) H. W. Schmidt, Ann. d. Phys. 1906, 21, pg. 627.

Setzt man diesen Wert für n_1 in die obige Gleichung ein, so erhält man zur Berechnung der komplexen Radiumkurve eine Gleichung von der Form:

$$J_t = J_0 \ (a e^{-\lambda_1 t} + b e^{-\lambda_2 t} + c e^{-\lambda_3 t})$$

worin die Konstanten a, b, c nur aus λ_1, λ_2, λ_3, k_1, k_2, k_3 zusammengesetzt sind.

Die gleiche Formel würde für die Wirkung des Thorniederschlages gelten, wenn man die entsprechenden für Thor gültigen Konstanten einsetzte, da er auch aus drei Produkten, ThA, ThB und ThC, besteht.

ThC ist von sehr schwacher Wirkung und von ThB kaum zu trennen; auch die Wirkung der weichen β-Strahlung von ThA ist sehr gering. Ich habe deshalb bei der Berechnung ThA als nichtstrahlend, ThC als nicht vorhanden angenommen, aber der Berechnung die Rutherfordschen Abklingungskonstanten für ThA und ThB zu Grunde gelegt, wodurch den gemachten Annahmen Rechnung getragen wird. Alsdann ergibt sich die Intensität der Thorstrahlung für jede beliebige Zeit aus nachstehender, gleichfalls aus obiger Formel zu folgernden Gleichung:

$$B = m_1 \left[\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{-\lambda_2 t} \right]$$

m_1 bedeutet die im Gleichgewichtszustand in der Sekunde entstehenden Atome von ThA. Die Faktoren k_1, k_2, k_3 treten hier nicht auf, weil wir nur eines der Produkte als strahlend annehmen.

Zur Zeit $t = 0$ ist also die Strahlungsintensität $B_0 = m_1$, mithin ist die Intensitätsgleichung, aus welcher sich die Thorkurve berechnen lässt:

$$\frac{J_t}{J_0} = \frac{B}{B_0} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{-\lambda_2 t}$$

Für die praktische Durchrechnung der Versuche ist es wesentlich, dass bereits 4—5 Stunden nach Entfernung des Drahtes von der Primärsubstanz (Emanation) die Strahlung des gesamten Radiumniederschlages auf einen ganz geringen Bruchteil ihrer Anfangsintensität gesunken ist. Es wird also zunächst aus den nach dieser Zeit beobachteten Ablesungen die Thorkurve berechnet und für die ersten Stunden bis zum Wert $t = 0$ extrapoliert. Bringt man sodann diese berechneten Werte von den

zu Anfang beobachteten in Abzug, so muss sich die Differenz beider nach der oben angeführten Formel als die komplexe Wirkung der drei Radiumprodukte analysieren lassen.

Die in obigen Formeln auftretenden Proportionalitätsfaktoren k_1, k_2, k_3 sind sowohl von der zur Wirksamkeit gelangenden Strahlenart, als auch von den Dimensionen des Untersuchungsapparates und dem absorbierenden Medium abhängig. H. W. Schmidt hat loc. cit. die Abhängigkeit dieser Faktoren näher untersucht und bei seiner Versuchsanordnung für Luft das Verhältnis:

$$k_1 : k_2 : k_3 = 6 : 1 : 8$$

festgestellt. H. W. Schmidt hat einen 7,5 cm hohen und 7,2 cm weiten Zylinder, an dem das aktivierte Blech deckelartig angeschlossen war, benutzt. Mein Zerstreuungsapparat war 30 cm hoch und 11 cm weit, auch war statt der aktivierten Platte ein aktivierter Draht verwendet, der auf einem Gestell spiralförmig aufgewunden war. Hierdurch waren die Versuchsbedingungen zwar geändert, doch fand eine Ueberstimmung derselben insofern statt, als in beiden Fällen die α-Strahlen (wenigstens die senkrecht austretenden) zur völligen Absorption gelangen mussten, da die maximale Reichweite der α-Strahlen (RaC) 7,06 cm beträgt. Der grössere Jonisierungsbereich, welchen die β-Strahlen in der Längsachse meines Zylinders finden mussten, kam für die stark durchdringenden, also schwach ionisierenden β-Strahlen des RaC nicht in Betracht. Mithin musste das Verhältnis der beiden Faktoren $k_0 : k_3$ bei meiner Anordnung annähernd das gleiche sein, wie bei H. W. Schmidt. Dagegen hatten bei mir die langsamen β-Strahlen von RaB ein grösseres Jonisierungsfeld zur Verfügung, es konnte daher der Wert von k_2 im Vergleich zu denen von k_1 und k_3 bei mir ein etwas grösserer sein. Es ist sehr schwierig aus den mit den Versuchsfehlern behafteten Beobachtungswerten das Verhältnis $k_1 : k_2 : k_3$ zu ermitteln — H. W. Schmidt fand seine Mittelwerte 6 : 1 : 8 auch nur durch Vergleich der Beobachtungsergebnisse mit einer Anzahl von Kurven, die er für die verschiedensten Werte von $k_1 : k_2 : k_3$ berechnet und auf Pausepapier gezeichnet hatte, wobei sich herausstellte, dass die Werte wegen des Spielraumes, den die Versuchsfehler lassen, in ziemlich weiten Grenzen

schwanken können, ohne mit den Versuchsergebnissen in Widerspruch zu geraten —, ich habe mich deshalb auch für die Schmidt'schen Werte entschieden und mit diesen meine Tabellen berechnet.

Um den Einfluss einer Vergrösserung des Wertes k_2 auf den Verlauf der Kurven zu ersehen habe ich eine Tabelle (Tab. IX) sowohl für das Verhältnis:
$k_1 : k_2 : k_3 = 6 : 1 : 8$ als auch für
$k_1 : k_2 : k_3 = 5{,}25 : 1 : 7$ durchgerechnet. Die Berechnung wurde folgendermassen durchgeführt. Es wurden für beide Fälle die Konstanten a, b und c berechnet, dann mit ihrer Hilfe und mittels der beobachteten J_t die zugehörigen J_o ermittelt und von den sich hierfür ergebenden Werten das Mittel genommen. Mit diesem Mittelwert für J_o wurden dann wieder die J_t berechnet, welche den Verlauf der berechneten Kurven angeben.

Das Ergebnis war folgendes:

(Tabelle IX.)

Zeit	log. brg. d. Strahlungsintensität J_t		
	beobachtet	berechnet für $k_1 : k_2 : k_3 = 6 : 1 : 8$	berechnet für $k_1 : k_2 : k_3 = 5{,}25 : 1 : 7$
0		2,654	2,679
13 m	2,362	2,424	2,426
20 m	2,379	2,385	2,385
30 m	2,321	2,326	2,327
40 m	2,266	2,260	2,261
50 m	2,182	2,186	2,187
1 h	2,114	2,106	2,106
1 h 10 m	2,004	2,021	2,020
1 h 20 m	1,945	1,932	1,931
1 h 30 m	1,848	1,839	1,839
1 h 40 m	1,729	1,744	1,743
1 h 50 m	1,555	1,647	1,646
2 h	1,554	1,548	1,547
2 h 10 m	1,477	1,446	1,445
2 h 30 m	1,013	1,242	1,240
3 h	1,079	0,924	0,924

Wir sehen also, dass die Veränderung nur auf den Wert J_0 einen Einfluss hat, u. zwar auch nur etwa von 1%, die übrigen Variationen aber im Vergleich zu den Versuchsfehlern verschwindend klein sind.

Bestimmung der induzierten Aktivität, welche der atmosphärischen Luft entstammt.

Um zunächst festzustellen, welchen Anteil die in der Atmosphäre stets vorhandene Emanation an der Aktivierung der Drähte in der Zinkröhre nimmt, wurde der Draht in die leere, vorher ganz sorgsam gereinigte Zinkröhre eingezogen und auf das übliche negative Potential gebracht. Es wurde alle 10 Minuten mit der Beobachtung von neuem begonnen. Jede Beobachtung erstreckte sich über 5 Minuten.

1. Versuch.

Ladepotential: 630—600 Volt.

Expositionszeit: 5 Tage 18 Std.

Zeit nach Ablegen der Batterie	Beobachtete Zerstreuung	Spontane Zerstreuung im Zylinder	Aktivierende Wirkung der Atmosphäre
10 m.	189,7	170,8	18,9
20 m.	42,6	26,1	16,5
30 m.	34,1	22,4	11,7
40 m.	30,8	19,3	11,5
50 m.	25,7	17,8	7,9
60 m.	27,6	18,2	9,4
70 m.	25,7	14,4	11,3
80 m.	20,9	17,0	3,9
90 m.	21,9	20,7	1,2
3 h. 30 m.	19,3	17,3	2,0

2. Versuch.

Ladepotential: 710—700 Volt.
Expositionsdauer: 2 Tage $22^1/_2$ Std.

Zeit	Beobachtete Zerstreuung	Spontane Zerstreuung im Zylinder	Aktivierende Wirkung der Luft
10 m.	200,7	150,2	50,5
20 m.	36,0	16,9	19,1
30 m.	32,7	16,6	16,1
40 m.	28,0	14,7	13,3
50 m.	26,9	15,2	11,7
60 m.	22,6	14,9	7,7
70 m.	23,2	15,0	8,2
80 m.	20,7	15,0	5,7
95 m.	17,7	14,0	3,7
3 h. 25 m.	14,7	13,0	1,7
5 h. 41 m.	13,2	13,0	—

Der abweichende Wert, welcher nach den ersten 10 Minuten beobachtet wurde, ist jedenfalls auf Staubwirkung zurückzuführen. Ich berücksichtige ihn deshalb bei der Berechnung der Mittelwerte nicht.

Das Mittel aus beiden Versuchen ergibt:

Zeit	Beobachtete Mittelwerte	Berechnete Ra B + C Kurve
0		18,3
10 m.	18,9	17,7
20 m.	17,8	16,3
30 m.	13,9	14,5
40 m.	12,4	12,6
50 m.	10,7	10,8
60 m.	8,0	9,1
70 m.	8,2	7,6
80 m.	5,0	6,3
90 m.	3,6	5,2

3. Versuch.

Die Röhre war vor diesem Versuch 14 Tage lang nicht auseinandergenommen worden, sodass nur wenig frische Luft beim Einziehen des Drahtes in die Röhre gelangen konnte.

Ladepotential: 700—670 Volt.
Expositionsdauer: 4 Tage $2^1/_2$ Std.

Zeit	Beobachtete Zerstreuung	Spontane Zerstreuung im Zylinder	Wirkung der atmosphär. Luft	Berechn. Radium Kurve
0				13,3
10 m.	236,8	123,2		13,0
20 m.	39,0	18,0	21,0	12,0
30 m.	28,1	16,3	11,8	10,6
40 m.	24,6	14,9	9,7	9,3
50 m.	22,5	15,5	7,0	7,9
60 m.	20,8	15,1	5,7	6,6
70 m.	19,9	14,8	5,1	5,5

Die aktivierende Wirkung der Atmosphäre ist also ziemlich gering. Allem Anschein nach rührt sie nur von Radiumemanation[1]) her. Im folgenden habe ich je nach den Umständen des Versuches den mittleren Wert der beiden ersten Versuche oder den letzten in Abzug gebracht.

Untersuchung der Bodenproben.

Die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen sind im folgenden durch Tabellen und Figuren dargestellt. Um die einzelnen Beobachtungen untereinander vergleichen zu können, ist die ionisierende Wirkung für die Zeit des radioaktiven Gleichgewichts, d. h. der Herausnahme des Drahtes aus der Zinkröhre, berechnet. Der Sättigungsstrom ist zu dieser Zeit in Mikroampere angegeben. Ferner ist das zu dieser Zeit in der Zink-

[1]) Die Aktivierung ist auf dem Institutsboden vorgenommen worden, also in einer Höhe von etwa 17 m über dem Erdboden, sodass die Thoremanation nicht mehr zur Wirkung kommen konnte.

röhre herrschende Mengenverhältnis der Emanationen nach der von Dadourian[1]) angegebenen Methode berechnet.

Dadourians Folgerungen sind diese: Bedeute

N die Anzahl der Atome Radiumemanation in 1 cm³ Luft

N_1, N_2, N_3 die Anzahl der Atome von Ra A, Ra B, Ra C in 1 cm³ Luft

N', N'_1, N'_2, N'_3 diejenige der Thoremanationsatome, Th A, Th B-, Th C-Atomen in 1 cm³ Luft

n die Anzahl der Radiumemanationsatome, die pro Sek. und ccm zerfallen

n' die entsprechende Anzahl Thoremanationsatome.

Bringt jedes Teilchen einer Gruppe nur eins der nächsten hervor und befindet sich diese Gruppe in radioaktivem Gleichgewicht, so ist die Anzahl der Teilchen, die in jeder Sekunde umgewandelt werden, für alle Glieder der Gruppe dieselbe. Da nach Voraussetzung die Luft sich im Gleichgewicht befindet, gilt

1) $n = \lambda N = \lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3$

2) $n' = \lambda' N' = \lambda'_1 N'_1 = \lambda'_2 N'_2 = \lambda'_3 N'_3$

Die Anzahl der auf dem negativ geladenen Draht vorhandenen Atome irgend eines der Zerfallprodukte ist proportional der Anzahl der in 1 cm³ Luft enthaltenen Atome desselben Produktes, vorausgesetzt, dass der Draht in radioaktivem Gleichgewichtszustand gegenüber der umgebenden Luft gelangt ist. Bezeichnen wir daher die auf dem Drahte vorhandene Anzahl der Teilchen jedes der 6 Produkte mit

$$M_1,\ M_2,\ M_3,\ M'_1,\ M'_2,\ M'_3$$

so können wir ansetzen:

3) $$\begin{cases} \dfrac{M_1}{N_1} = \dfrac{M_2}{N_2} = \dfrac{M_3}{N'_3} \left(= \dfrac{M_3}{N_3}\right) \\ \dfrac{M'_1}{N'_1} = \dfrac{M'_2}{N'_2} = \dfrac{M'_3}{N'_3} \end{cases}$$

also

4) $$\begin{cases} N_1 = kM_1;\ N_2 = kM_2;\ N_3 = kM_3 \\ N' = k'M'_1;\ N'_2 = k'M'_2;\ N'_3 = k'M_3 \end{cases}$$

5) $$\begin{cases} n = \lambda N = k\lambda_1 N_1 = k\lambda_2 N_2 = k\lambda_3 N_3 \\ n' = \lambda' N' = k'\lambda'_1 N'_1 = k'\lambda'_2 N'_2 = k'\lambda'_3 N'_3 \end{cases}$$

[1]) Dadourian, Physik. Z. 9, 1908, pg. 335.

Vorausgesetzt, dass die positiv geladenen Teilchen von RaA mit gleicher Kraft an den negativ geladenen Draht angezogen werden, wie diejenigen von ThA, so kann man setzen

$$k = k';$$

das Gleichungssystem 5) lautet alsdann:

$$6) \quad \begin{cases} n = \lambda N = k\lambda_1 N_1 = k\lambda_2 N_2 = k\lambda_3 N_3 \\ n' = \lambda' N' = k\lambda'_1 N'_1 = k\lambda'_2 N'_2 = k\lambda'_3 N'_3 \end{cases}$$

Angenommen, dass das Ionisationsvermögen eines α-Teilchens proportional seiner Reichweite R und der Anzahl der Ionen ν ist, die es auf einem Wege von 1 cm erzeugt,*) so ist die z. B. von dem auf dem Draht aufgespeicherten Produkt RaC herrührende Ionisation

$$I = \nu R_3 M_3$$

λ_3 ist die Reichweite des α-Teilchens von RaC; ν wird für alle α-Strahlen als gleich angenommen.

Die ionisierende Wirkung von ThB und ThC wird gleichzusetzen sein

$$I' = \nu\,(R'_2 M'_2 + R'_3 M'_3).$$

Kennt man nun die ionisierende Wirkung von ThorB und C und diejenige von RaC zur Zeit $t = o$, — die Wirkung von ThB und ThC ist aber gleich derjenigen des gesamten Thorniederschlages, da wir die Wirkung der weichen β-Strahlen von ThA unberücksichtigt liessen, und die Wirkung von RaC lässt sich leicht aus der erhaltenen Radiumkurve ermitteln; sie beträgt unter Annahme der H. W. Schmidt'schen Faktoren $^8/_{15}$ der Wirkung des gesamten Radiumniederschlages — so ist

$$\frac{I'}{I} = \frac{\nu\,(R'_2 M'_2 + C'_3 M'_3)}{\nu\,R_3 M_3}$$

Setzen wir hierin für M'_2, M'_3, M_3 die aus dem Gleichungssystem 6 sich ergebenden Werte ein, so ist:

$$\frac{N'}{N} = \frac{I'}{I} \cdot \frac{\lambda\lambda'_3\lambda'_2 R_3}{\lambda'\lambda_3(\lambda'_3 R'_2 + \lambda'_2 R'_3)}$$

*) Die Annahme, dass das Ionisationsvermögen des α-Teilchens proportional seiner Reichweite ist, trifft nur in roher Annäherung zu. Die Zahl der erzeugten Ionen nimmt nämlich kurz vor Erlöschen der ionisierenden Wirkung stark zu und dann schnell ab (cf H. W. Schmidt, Ann. d. Ph., loc. cit.)

Da nun λ'_2 im Vergleich zu den andern Konstanten sehr gross ist, vereinfacht sich die Formel:

$$\frac{N'}{N} = \frac{I'}{I} \frac{\lambda \lambda'_2 R_3}{\lambda' \lambda_3 R'_2}$$

N und N′ sind aber die Anzahl der Emanationsatome von Ra und Th in Luft. Bei Benutzung der Werte:

$\lambda = 2{,}11 \cdot 10^{-6}\ \text{sek}^{-1}$; $\lambda'_2 = 1{,}93 \cdot 10^{-4}\ \text{sek}^{-1}$; $\lambda' = 1{,}28 \cdot 10^{-2}\ \text{sek}^{-1}$; $\lambda_3 = 5{,}92 \cdot 10^{-4}\ \text{sek}^{-1}$; $R_3 = 7{,}06$ cm; $R'_2 = 5{,}0$ cm;

ergibt sich alsdann $\frac{N'}{N} = 7{,}588 \cdot 10^{-5} \frac{I'}{I}$.

Es folgen nunmehr die Ergebnisse für die einzelnen untersuchten Bodenproben.

1. Kaolin.

Die benutzte Porzellanerde wurde der unterhalb der sogenannten „Steinernen Jungfrau“ gelegenen Grube von Baensch in Döhlau entnommen. 20 Stunden später wurden $6\frac{1}{4}$ kg davon gut zerkleinert in der Zinkröhre ausgebreitet und der zu aktivierende Draht eingezogen.

Expositionsdauer: 49 Stunden. Ladepotential: 700—600 Volt. Die Empfindlichkeit des Elektrometers betrug 120,2 Skalenteile pro 1 Volt.

Da die spontane Zerstreuung im sonst benutzten Zylinder an diesem Tage aus unkontrollierbaren Ursachen abnormen Schwankungen unterworfen war (vielleicht wegen ungenügender Isolation), wurde für diesen Versuch ein Zylinder von gleicher Konstruktion benutzt, welcher mit dem Elektrometer verbunden eine Kapazität von 46,58 cm = 0,0000517 Mikrofarad besass. Unmittelbar vor dem Versuch wurde die spontane Zerstreuung für diesen Zylinder bestimmt.

Die Ergebnisse des Versuches sind in folgender Tabelle zusammengestellt. Da die späteren Versuche für 5 Minuten Ausschläge angegeben sind, sind auch in dieser Tabelle in den letzten 3 Rubriken die Werte für 5 Minuten berechnet.

Tabelle I. (Figur 4)

Zeit	korrig. Ablesungen	spontane Zerstreuung i. Zylinder	Aktivierg. durch atmosph. Luft	Wirkung von Kaolin pro 3 Min.	berechnete Thorkurve 3 Min.	Wirkung d. Kaolin ohne Thor 3 Min.	berechn. Radiumcurve 3 Min.	berechn. Kurve v. Ra + Th 3 Min.	Thor 5 Min.	Radium 5 Min.	Ra + Th 5 Min.
0 m.			11,0		362,44		189,4	551,84	604,0	315,6	919,6
13 m.	465,2	5,0	10,4	449,8	361,8	88,0	111,4	473,2	603,0	185,6	788,6
23 m.	470,8	5,0	9,5	451,3	361,1	90,2	97,7	458,8	602,0	162,9	764,9
33 m.	459,1	10,0	8,3	440,8	360,0	80,8	75,1	435,1	600,0	141,9	741,9
43 m.	447,6	10,0	7,3	430,3	359,2	71,1	72,7	431,9	598,5	121,2	719,7
1 h. 30 m.	395,9	11,0	3,1	381,8	349,2	32,6	29,0	378,2	582,0	48,3	630,3
2 h.	370,5	11,0	1,7	357,8	341,4	16,4	14,8	356,2	569,0	24,7	593,7
2 h. 32 m.	358,7	11,0	0,9	346,8	332.4	14.4	7,0	339,4	554,0	11,6	565,6
3 h. 16 m.	333,5	11,0	0,4	322,1	319,3	2,8	2,4	321,7	532,0	4,0	536,0
5 h. 17 m.	298,9	11,0		287,9	283,1			283,1	472,0		472,0
7 h. 39 m.	255,3	11,0		244,3	244.3			244,3	407,0		407,0
18 h. 12 m.	141,9	15,0		126,9	125,7			125,7	209,5		209,5

Figur 4, welche diese Tabelle graphisch wiedergibt, veranschaulicht besser die gute Übereinstimmung von Beobachtung und Rechnung.

Ein zweiter Versuch mit derselben Kaolinprobe wurde vorgenommen, nachdem das Material 4 Wochen auf einem Pappdeckel ausgebreitet war.

Tabelle II (Figur 5).

Zeit	korrigierte Ablesungen	spontane Zerstreuung im Zylinder	aktivierende Wirkung der atmosph. Luft	Wirkung des Kaolin pro 5 Min.	berechnete Thor-Kurve	Wirkung des Kaolin ohne Thor	berechnete Radiumkurve	berechnete Kurve für Ra + Th
0			18 3		258,28		112,1	370,38
16 m.	343,8	20,2	17,0	306,6	257,8	48,8	63,2	321,0
26 m.	342,0	20,0	15,4	306,6	257,3	49,3	55,6	312,9
36 m.	333,1	19,0	13,5	300,6	256,3	44,3	48,2	304,5
46 m.	327,1	17,5	11,7	297,9	255,2	42,7	40,9	296,1
56 m.	317,2	17,0	8,3	291,9	254,0	37,9	34,2	288,2
1 h. 6 m.	309,8	17,0	5,8	286,0	252,6	33,4	28,2	280,8
1 h. 36 m.	289,4	17,0	1,8	270,6	247,8	22,8	15,1	262,9
2 h. 43 m.	253,4	17,0		236,4	234,6	1,8	3,2	237,8
6 h. 48 m.	200,6	17,0		183,6	183,6			183,6
10 h. 35 m.	165,7	18,0		147,7	144,8			144.8
21 h. 35 m.	80,2	14.9		65,3	72,4			72,4
25 h.	70,4	16,0		54,4	58,4			58,4

Durch diesen Versuch wollte ich konstatieren, inwieweit an der Aktivierung des Drahtes Emanation beteiligt war, die nicht der Probe, sondern vielleicht tieferen Schichten entstammte. Jedenfalls musste die bei diesem Versuche wirksame Emanation sicher den in der Probe selbst enthaltenen radioaktiven Substanzen entstammen. Die Expositionsdauer betrug 4 Tage, die Potentialdifferenz 530 — 480 Volt. Empfindlichkeit: 1 Volt = 121,63 Sktl. Der Unterschied zwischen dem ersten und dem zweiten Versuch ist ein sehr erheblicher. Während beim ersten Versuch (im August) das Kaolin noch feucht war, war es beim zweiten ganz trocken. Es lag also nahe, zu schliessen, dass bei der Trockenheit die Emanation schwerer aus dem Boden heraus-diffundiere. Um den Einfluss der Feuchtigkeit festzustellen, brachte ich die Kaolinprobe (im Oktober) auf denselben Feuchtigkeitsgrad, wie zu Anfang, indem ich sie mit destilliertem Wasser mittels eines feinen Zerstäubers anfeuchtete. Beim 3. Versuch betrug:

Die Expositionsdauer: 8 Tage,

die Potentialdifferenz 580 Volt,
die Empfindlichkeit 116,7 Sktl. pro 1 Volt.
Das Ergebnis erhellt aus der untenstehenden Tabelle III.

Tabelle III. (Figur 6).

Zeit	corrig. Ablesungen	spontane Zerstreuung i. Cyl. p. 3 Min.	aktivier. Wirkung der Luft pro 3 M.	Wirkung des Kaolin pro 3 Min.	berechnete Thorcurve	Wirkung des Kaolin ohne Thor. 3 M.	berechnete Radiumcurve	Wirkung des Kaolin pro 5 Min.	berechnete Curve von Ra + Th. 5 Min.
0			11,0		318,86		173,4		820,4
10 m.	401,1	410,6 (?)	10,6		318,5		107,5		710,0
20 m.	411,6	21,6	9,8	380,2	318,1	62,1	92,9	633,5	685,0
30 m.	404,4	14,3	8,7	381,4	317.0	64,3	81,4	635,5	664,0
40 m.	388,6	11,2	7,6	369,8	316,1	53,7	70,0	616.4	643,5
50 m.	376,7	10,3	6,5	359,5	314,6	44,9	59.0	599,2	622,7
1 h.	376,1	10,3	5,5	360,3	313,0	47,3	49,0	600,5	603,3
1 h. 10 m.	367,7	10,3	4,6	352,8	311,2	41.6	39,8	588,0	585,0
1 h. 20 m.	364,2	10,3	3,8	350,1	309,5	40,6	32,8	583,5	570,5
1 h. 30 m.	343,7	9,0	3,1	331,6	306,7	24,9	26,5	552,6	555,3
1 h. 40 m.	343,0	9,0	2,4	331,6	305,0	26,6	21,3	552.6	543,8
1 h. 50 m.	328,9	9,0	1,8	318,1	302,7	15,4	17,0	530.0	532,8
2. h	320,9	9,0	1,4	310,5	300,4	10,1	13,6	517,5	523,3
2 h. 10 m.	323,4	9,0	1,2	313,2	298,0	15,2	10,5	522,0	514,2
2 h. 20 m.	318,5	9,0	1,0	308,5	295,5	13,0	8,5	514,1	506,7
3h	294,1	9,0		285,1	285,1		3,2	475,1	480,5
3 h. 30 m.	292,5	9,0		283,5	277,1			472,5	461,8
4 h. 50 m.	264,2	9,0		255,2	256,0			425,3	426,6
5 h.	257,0	9,0		248,0	253,4			411,3	422,3
6 h.	249,2	9,0		240,2	238,2			400,3	397,0
7 h.	233,0	9,0		224,0	223,9			373,3	373,1
8 h.	215,6	9,0		206,6	210,2			344,5	350,3
21h. 30 m.	100,3	9,1		91,2	89,9			152,0	149,8
32h. 30 m.	51,2	9,0		42,2	44,9			70,3	74,8
45h. 30 m.	28.7	9,0		19,7	19,8			32,8	33,0
52 h.	22,3	9,0		13,3	13,2			22,1	22,0

Es zeigte sich eine Vermehrung der Aktivität bis zum doppelten Wert, wenngleich der Aktivitätsgrad des ersten Versuches nicht erreicht wurde. Auch bei diesen beiden Versuchen beachte man die in den Figuren zum Ausdruck kommende Uebereinstimmung von Beobachtung und Rechnung. Das Ergebnis dieser Versuche ist folgendes: Kaolin enthält sowohl Radium als auch Thor, und zwar letzteres in grösseren Mengen, als sich nach meinen früheren Beobachtungen vermuten liess. Zur Zeit des radioaktiven Gleichgewichtszustandes betrug das Verhältnis der Radiumem anation zur Thoremanation in den 3 Fällen: 3672, 3050, 3821 im Mittel war also 3514 mal soviel

Radiumemanation als Thoremanation in der Zinkröhre vorhanden. Der für die Zeit t = o berechnete Sättigungsstrom betrug

1) bei frischem Material $0{,}0_5132$ Mikroampere.
2) bei trockener Probe 40 Tage alt $0{,}0_632$ Mikroampere.
3) nach Anfeuchten, über 2 Monate alt, $0{,}0_512$ Mikroampere.

II. Gartenerde.

$6^1/_4$ kg Gartenerde wurden dem Garten des Physikalischen Instituts aus einer Tiefe von $^1/_2$ m entnommen und bald darauf in der Röhre ausgebreitet.

Expositionsdauer: 7 Tage, Potential des Drahtes 760 Volt Empfindlichkeit: 1 Volt = 124,2 Sktl.

Innerhalb der ersten 40 Minuten finden erhebliche Abweichungen der beobachteten Werte von den berechneten statt. Ursache ist wahrscheinlich die unzutreffende spontane Zerstreuung, die in Rechnung gezogen wurde.

Tabelle IV. (Figur 7.)

Zeit	corrig. Ablesungen	spontane Zerstreuung i. Cylind.	aktivier. Wirkung der atm. Luft.	Wirkung der Gartenerde 5 m.	berechnete Thorkurve	Wirkung ohne Thor	berechnete Radiumkurve	ber. Curve für Ra + Th.
0					141,73		146,0	287,73
17 m.	384,4	65,0	16,8	302,6	141,4	161,2	81,3	222,7
27 m.	294,7	33,1	15,1	246,6	141,1	105,5	71,5	212,6
37 m.	263,6	26,8	13,2	223,6	140,6	83,0	61,8	202,4
47 m.	239,3	25,1	11,4	202,8	140,0	62,8	52,4	192,4
57 m.	218,6	23,0	9,6	186,0	139,3	46,7	43,7	183,0
1 h. 7 m.	217,8	21,8	8,1	171,9	138,6	33,3	36,0	174,6
1 h. 17 m.	193,5	20,0	6,7	166,8	137,7	29,1	29,4	167,1
1 h. 27 m.	182,8	18,8	4,5	159,5	136,9	22,6	23,8	160,7
1 h. 47 m.	166,2	17,1	3,6	145,5	134,9	10,6	15,3	150,2
1 h. 57 m.	163,2	17,1	3,0	143,1	133,8	9,3	12,2	146,0
2 h. 7 m.	158,0	17,0	2,5	138,5	132,7	5,8	9,7	142,4
3 h. 27 m.	136,0	17,0		119,0	123,0			123,0
5 h. 47 m.	124,3	17,0		107,3	107,3			107,3
7 h. 28 m.	117,6	17,0		100,6	96,5			96,5
24 h 12 m.	50,5	17,0		33,5	33,7			33,7

Die in der Kurve deutlich zum Ausdruck kommende Abweichung der Radiumkurve wird vermutlich durch die unzu-

treffende spontane Ionisation, die in Anwendung gebracht werden musste, begründet sein.

Die vor dem Versuch gemachten Ablesungen differierten nämlich derartig, dass sie nicht verwendet werden konnten. Es wurde daher eine mittlere, etwas später beobachtete spontane Zerstreuung in Rechnung gezogen. Vielleicht ist auch Ra A an den ersten Werten beteiligt. Die Thorkurve tritt jedoch besser zu Tage, als die des Radium.

Ein zweiter Versuch ist durch Tabelle V dargestellt:

Tabelle V. (Figur 8.)

Zeit	corrig. Ablesungen	spontane Zerstreuung im Zylind.	aktivierende Wirkung der atm. Luft	Wirkung der Gartenerde (5 Min.)	berechnete Thorkurve	Wirkung der Gartenerde ohne Thor	berechnete Radiumkurve	berechnete Kurve von Ra + Th.
0					137,63		146,9	284,53
10 m.	265,8	13,3	17,7	234,8	137,5	97,3	91,1	228,6
14 m.	249,6	10,0	17,1	222,5	137,4	85,1	85,1	222,5
21 m.	238,6	8,3	16,1	214,2	137,3	76,9	77,7	215,0
41 m.	215,1	6,0	12,4	195,7	136,3	59,4	58,3	194,6
51 m.	201,0	5,0	10,6	185,4	135,7	49,7	49,1	184,8
1 h. 1 m.	187 8	4,0	8,9	174,9	135,0	39,9	40,8	175,8
1 h. 8 m.	177,4	4,0	7,9	165,5	134,5	31,0	35,5	170,0
1 h. 45 m.	158,1	4,0	3,8	150,3	131,2	19,1	16,1	147,3
3 h. 37 m.	121,7	4,0		117,0	118,8			118,8
14 h. 52 m.	62,9	4,0		58,9	58,9			58,9
20 h. 32 m.	48,4	5,0		43,4	41,2			41,2
25 h. 58 m.	35,8	5,0		30,8	29,3			29,3

Bei diesem Versuch zeigt die Figur wieder gute Uebereinstimmung der beobachteten und berechneten Werte.

Die Gartenerde war nach dem ersten Versuch garnicht erst aus der Röhre entfernt worden. Die Exposition des neuen Drahtes erfolgte gleich nach der Herausnahme des alten.

Expositionsdauer: 3 Tage 3 Stunden.

Potential des Drahtes: 700 – 600 Volt.

Empfindlichkeit: 1 Volt = 120,2 Sktl.

Dieser Versuch liefert den befriedigenden Nachweis für die Anwesenheit von Thor und Radium. Die Intensität der Strahlung ist gleich derjenigen beim ersten Versuch.

3. Versuch: Die Erde lag seit dem letzten Versuch über 5 Wochen lang auf Pappe ausgebreitet.

Tabelle VI. (Figur 9)

Zeit	korrig. Ablesungen	spontane Zerstreuung im Zylind.	Aktivierung d. atmosph. Luft	Wirkung der Gartenerde	berechnete Thorkurve	Wirkung der Gartenerde ohne Thor	berechnete Radiumkurve	berechnete Kurve von Ra + Th.
0					121,27		178,9	300,17
12 m	521,1	241,3	17,4	252,4	121,1	131,3	106,9	228,0
18 m	303,0	48,5	16,6	237,9	121,0	116,9	98 3	219,3
27 m	261,7	35,9	15,0	210,8	120,8	90.0	87,6	208,4
37 m	243,3	30,6	13,2	199,5	120,3	79,2	75,7	196,0
47 m	223,1	27,8	11.3	184,0	119,8	64,2	64,2	184,0
57 m	206,2	25,1	9,6	171,5	119,2	52,3	53,6	172,8
1 h. 7 m,	192,9	23,8	8,0	161,1	118,6	42,5	44,1	162,7
1 h. 17 m.	184,9	23,6	6,7	154,6	117,9	36,7	36,0	153,9
1 h. 27 m.	180,1	22,0	5,5	152,6	117,1	35,5	29,2	146,3
2 h. 2 m.	157,5	20,0	2,8	134,7	114,1	20,6	13,4	127,5
2 h. 27 m.	138,4	18,0	1,5	118,9	111,7	7,2	7,4	119,1
3 h. 38 m.	124,7	17,0	0,4	107,3	105,6	1,7	1,3	106,9
4 h. 57 m.	115,7	17,0		98,7	96,7			96,7
6 h. 27 m.	107,6	17,0		90,6	88,1			88,1
9 h. 27 m.	90,0	17,0		73,0	73,0			73,0
20 h. 27 m.	49,0	13,0		36,0	36,5			36,5
47 h. 27 m.	24, 9	18,0		6,9	6,7			6,7

Expositionsdauer: 7 Tage.

Potential des Drahtes: 560 Volt.

Empfindlichkeit: 1 Volt = 121,6 Sktl.

Auch dieser Versuch bestätigt das Vorhandensein von Radium und Thor.

Das Mengenverhältnis der beiden Emanationen in der Zinkröhre betrug in den drei Fällen:

Ra Em : Th Em = 7240, 7507, 10393.

Der für den Beginn der Beobachtungen berechnete Sättigungsstrom betrug:

$0{,}0_6396$ Mikroampere
$0{,}0_6405$ „
$0{,}0_6422$ „

---

3. Tonletten.

Die Tonletten, dem Buntsandstein angehörig, stammen aus der Grube der Linke und Ströfer'schen Ziegelei bei Nietleben.

Sie wurden 6 Stunden nach Entfernen von der Fundstelle in die Röhre getan.

Tabelle VII. (Figur 10).

Zeit	corrig. Ablesungen	spontane Zerstreuung im Cylind.	aktivier. Wirkung der atm. Luft.	Wirkung des Tones	berechnete Thorkurve	Wirk. des Tones ohne Thor	berechnete Radiumkurve	berechnete Kurve von Ra + Th
0					280,5		373,7	654,2
20 m	519,2	37,1	16,3	465,8	279,8	186,0	200,2	480,0
30 m	462,2	25,0	14,5	422,7	279,0	143,7	175,4	454,4
40 m	463,9	22,2	12,6	429,1	278,0	151,1	150,4	428,4
50 m	428,7	21,3	10,8	396,6	276,8	119,8	127,2	404,0
1 h	403,3	21,2	9,1	373,0	275,4	97,6	105,7	381,1
1 h 10 m	387,7	21,1	7,6	359,0	273,8	85,2	86,8	360,6
1 h 20 m	382,5	21,0	6,3	355,2	272,2	83,0	70,7	342,9
1 h 30 m	354,8	20,0	5,2	329,6	270,3	59,3	57,2	327,5
1 h 40 m	340,7	20,0	4,2	316,5	268,3	48,2	45,9	314,2
1 h 50 m	331.4	20,0	3,4	308,0	266,3	41,7	36,7	303,0
2 h	326,4	20,0	2,8	303,6	264,2	39,4	29,2	293,4
2 h 20 m	308,3	20.0	1,9	286,4	259,9	26,5	18,3	278,2
3 h	274,3	18,0	0,7	255,6	250,8	4,8	6,9	257,7
4 h 1 m	252,8	17,0		235,8	236,5			236,5
5 h 15 m	247,4	17,0		230,4	219,5			219,5
6 h	228,3	17,0		211,3	209,6			209,6
7 h 30 m	206,2	17,0		189,2	190,8			190,8
21 h	99,4	15,0		84,4	81,6			81,6
27 h 5 m	76,0	15,0		61,0	55,6			55,6
27 h 15 m	75,0	15,0		60,0	55,2			55,2
32 h	50,6	15,0		35,6	40,8			40,8
45 h 10 m	34,3	15,0		19,3	17,8			17,8
56 h 5 m	26,0	15,0		11,0	8,9			8,9

Expositionsdauer: 65 Stunden.

Potential des Drahtes: 660 Volt.

Empfindlichkeit: 1 Volt = 116,4 Sktl.

Auch diese in Tabelle VII wiedergegebene Untersuchung erweist das Vorhandensein von Radium und Thor.

Wie aus den Figuren ersichtlich, ist bei diesem und den folgenden Versuchen die Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung besonders gut.

2. Versuch: (dieselbe Probe).

Tabelle VIII (Figur 11).

Zeit	korrigierte Ablesungen	spontane Zerstreuung im Zylinder	aktivierende Wirkung der atm. Luft	Wirkung des Tones	berechnete Thorkurve	Wirkung des Tones ohne Thor	berechnete Radiumkurve	berechnete Kurve für Ra + Th
0					295,06		532,5	827,56
10 m.	649,1	24,4	13,0	611,7	294,9	316,8	330,2	625,1
20 m.	602,1	24,0	12,0	566,1	294,4	271,7	285,3	579,7
30 m.	573,7	23,2	10,6	539,9	293,5	246,4	250,0	543,5
40 m.	541,2	23,0	9,3	508,9	292,5	216,4	214,9	507,4
50 m.	506,2	22,0	7,9	476,3	291,2	185,1	181,2	472,4
1 h.	462,8	21,0	6,6	435,2	289,7	145,5	150,6	449,3
1 h. 10 m.	431,6	21,0	5,5	405,1	288,0	117,1	123,8	411,8
1 h. 20 m.	405,6	20,1	4,6	380,9	286,4	94,5	100,8	387,2
1 h. 30 m.	379,4	20,0	3,7	355,7	284,3	71,4	81,5	365,8
1 h. 40 m.	380,6	20,0	3,1	357,5	282,3	75,2	65,4	347,7
1 h. 50 m.	363,7	20,0	2,5	341,2	280,2	61,0	52,3	332,5
2 h.	343,6	20,0	2,0	321,6	278,0	43,6	41,6	319,6
2 h. 10 m.	330,4	20,0	1,6	308,8	275,7	33,1	33,0	308,7
2 h. 20 m.	322,5	20,0	1,3	301,2	273,4	27,8	26,1	299,5
3 h.	292,9	20,0	0,5	272,4	263,8	8,6	9,9	273,7
4 h. 5 m.	270,4	20,0		250,4	247,8	2,6	2,3	250,1
5 h.	253.7	20,0		233,7	234,5			234,5
7 h. 30 m.	217,3	20,0		197,3	200,7			200,7
9 h. 15 m.	201,2	20,0		181,2	179,9			179,9
20 h. 15 m.	111,2	21,0		90,2	90,0			90,0
24 h. 30 m.	94,4	23,0		71,4	68,8			68,8
25 h.	93,3	23,0		70.3	66,7			66,7
32 h. 30 m.	73,3	23,0		50,3	41,6			41,6
45 h. 16 m.	54,7	23,0		31,7	18,6			18,6
54 h. 30 m.	50,0	23,0		27,0	10,4			10,4

Die Letten befanden sich bei der Herausnahme des Drahtes 14 Tage lang in der Röhre, infolgedessen wird der aktivierende Einfluss der atmosphärischen Luft gering sein, andrerseits wird sich Radiumemanation in reichlichem Betrage angesammelt haben. Für Thor hat die lange Zeit des Lagerns keine Bedeutung. Auch diesmal wurde der ältere Zylinder benutzt, da die spontane Zerstreuung im anderen grosse Schwankungen aufwies.

Expositionsdauer: 7 Tage 17 Stunden.

Potential: 630 Volt.

Empfindlichkeit: 1 Volt = 116,1 Sktl.

Die Tabelle ergibt das Eintreten der Erwartungen: Die Thoraktivität hat nicht abgenommen, dagegen ist die induzierte Radiumaktivität erheblich gestiegen.

Nachdem die Letten vom November (2. Versuch) bis Anfang Januar ausgebreitet lagen, wurden sie wieder in die Röhre gefüllt. In dieser befanden sie sich alsdann 4 Wochen, ehe der dritte Versuch begann. Es waren also die gleichen Versuchsbedingungen, wie beim vorhergehenden Versuch.

Expositionsdauer: 69 Stunden.

Potential: 570 Volt.

Empfindlichkeit: 1 Volt = 120,2 Sktl.

Das Ergebnis war:

Tabelle IX (Figur 12.)

Zeit	korrigierte Ablesungen	spontane Zerstreuung im Zylinder	Aktivierung durch atmos. Luft	Wirkung des Tones	berechnete Thorkurve	Wirkung des Tones ohne Thor	berechnete Radiumkurve	berechnete Kurve von Ra + Th
0					271,45		451,3	722,75
13 m.	710,8	197,0	12,7	501,1	271,1	230.3	265,4	536,5
20 m.	551,0	28,7	12,0	510,3	270,8	239.5	241,8	512,6
30 m.	511,1	20,9	10,6	479,6	270,0	209.6	211,8	481,8
40 m.	481,7	18,7	9,3	453,7	269,1	184,6	182,1	451,2
50 m.	445,6	17,6	7,9	420,1	267,9	152,2	153,6	421,5
1 h.	420,2	17,2	6,6	396,4	266,5	129,9	127,6	393,1
1 h. 10 m.	388,5	17,0	5,5	366,0	265,0	101,0	104,9	369,9
1 h. 20 m.	373,0	16,8	4,6	351,6	263,4	88,2	85,4	348,8
1 h. 30 m.	352,5	16,7	3,7	332,1	261,6	70,5	69,1	330,7
1 h. 40 m.	332,9	16,5	3,1	313,3	259,7	53,6	55,5	315,2
1 h. 50 m.	312,5	16,4	2,5	293,6	257,7	35,9	44,3	302,0
2 h.	309,8	16,3	2,0	291,5	255,7	35,8	35,3	291,0
2 h. 10 m.	301,4	16,2	1,6	283,6	253,6	30,0	27,9	281,5
2 h. 30 m.	276,8	16,1	1,0	259,7	249,4	10,3	17,5	266,9
3 h.	271,2	16,0	0,5	254,7	242,7	12,0	8,4	251,1
4 h.	253,4	16,0		237,4	229,1	8,3	1,9	231,0
5 h.	232,7	16,0		216,7	215,7	1,0		215,7
6 h.	220,4	16,0		204,4	202,8			202,8
9 h.	184,9	16,0		168,9	168,1			168,1
22 h. 1 m.	86,3	16,0		70,3	74,0			74,0
32 h. 20 m.	54,1	16,0		38,1	38,7			38,7
47 h.	31,3	16,0		15,3	15,3			15,3
55 h. 32 m.	26,0	16,0		10,0	9,0			9,0

Der Ton enthält also offensichtlich Radium und Thor, und wie besonders der letzte Versuch deutlich darlegt, stammt die gesamte beobachtete Emanation aus der Bodenprobe selbst und nicht, wie früher des öfteren geglaubt wurde, zum grossen Teil aus tieferen Schichten des Erdbodens.

Das Mengenverhältnis von Radiumemanation zur Thoremanation betrug in den 3 Fällen kurz vor Herausnahme des Drahtes: 9363, 12692, 11686.

Der vom aktiven Niederschlag zur Zeit t = 0 gelieferte Sättigungsstrom berechnete sich zu:

$0{,}0_6961$ Mikroampere
$0{,}0_5123$ „
$0{,}0_5103$ „

4. Porphyr.

Den verwendeten Porphyr (ältere Art) lieferte das Porphyrwerk in Trebitz am Petersberge. Der Porphyr war 4 Tage vor dem Versuch gebrochen und zu feinstem Grus verarbeitet, es waren also bis reisskorngrosse Stückchen, die mit dem staubigen Abfall des Gesteins vermengt waren. Ich wählte gerade diesen Porphyr, weil er das geologische Muttergestein der Kaolinlager von Lettin und Dölau ist.

Expositionsdauer: 3 Tage 19 Std.

Potential des Drahtes 670—640 Volt.

Empfindlichkeit des Elektrometers: 1 Volt = 121,2 Sktl.

Das Versuchsergebnis erhellt aus Tabelle X. Man vergleiche Tabelle mit Figur 13.

Tabelle X (Figur 13).

Zeit	korrigierte Ablesungen	spontane Zerstreuung im Zylinder	Aktivierung durch atmos. Luft	Wirkung des Porphyr	berechnete Thorkurve	Wirkung des Porphyrs ohne Thor	berechnete Radiumkurve	berechnete Kurve von Ra + Th
0					374,9		237,8	612,7
10 m.	693,6	153,3	17,7	522,6	374,7	147,9	147,5	522,2
20 m.	540,7	28,3	16,3	496,1	374,0	122,1	127,4	501,4
30 m.	520,6	22,1	14,5	484,0	373,0	111,0	111,6	484,6
40 m.	496,6	18,8	12,6	465,2	371,6	93,6	95,9	467,5
50 m.	473,0	17,9	10,8	444,3	370,0	74,3	80,9	450,9
1 h.	464,5	17,3	9,1	438,1	368,1	70,0	67,3	435,4
1 h. 10 m.	450,0	17,0	7,6	425,4	366,0	59,4	55,3	421,3
1 h. 20 m.	431,2	16,5	6,3	408,4	363,9	44,5	45,0	408,9
1 h. 30 m.	424,1	16,2	5,2	402,7	361,2	41,5	36,4	397,6
1 h. 40 m.	403,1	16,0	4,2	382,9	358,7	24,2	29,2	387,9

Tabelle X (Fortsetzung).

Zeit	korrigierte Ablesungen	spontane Zerstreuung im Zylinder	Aktivierung durch atmos. Luft	Wirkung des Porphyrs	berechnete Thorkurve	Wirkung des Porphyrs ohne Thor	berechnete Radiumkurve	berechnete Kurve von Ra + Th
1 h. 50 m.	411,0	16,0	3,4	391,6	356,0	35.6	23,4	379,4
2 h.	395,5	16,0	2,8	376,7	353,2	23,5	18,6	371,8
2 h. 10 m.	378,0	16,0	2,3	365,7	350.3	15,4	14,7	365,0
3 h.	352,7	16,0	0,7	336,0	335,2	0,8	4,4	339,6
4 h. 30 m.	319,6	16,0		303,6	307,1			307,1
6 h.	297,7	16,0		281,7	280,1			280,1
9 h. 18 m.	240,2	16,0		224,2	227,8			227,8
9 h. 25 m.	237,8	16,0		231,8	226,1			226,1
23 h. 18 m.	110,7	16,0		94,7	94,3			94,3
27 h. 35 m.	88,0	16,0		72,0	72,0			72,0
33 h.	65,9	16,0		49,9	51,2			51,2
33 h. 9 m.	65,8	16,0		49,8	50,7			50,7
47 h. 45 m.	38,1	17,0		21,1	20,2			20,2
47 h. 55 m.	37,1	17,0		20,1	20,0			20,0
54 h. 33 m.	30,5	17,0		13,5	13,2			13,2
70 h. 20 m.	24,2	18,0		6,2	4,8			4,8
70 h. 40 m.	24,3	18,0		6,3	4,8			4,8

Auch hierfür ergibt sich das Vorhandensein von Radium und Thor.

Das Mengenverhältnis der beiden Emanationen verhält sich wie:

$$4457 : 1.$$

Der Sättigungsstrom zur Zeit $t = o$ betrug:

$$0{,}0_6864 \text{ Mikroampere.}$$

Der Sättigungsstrom bleibt also hinter dem für Kaolin bestimmten zurück. Dies ist jedoch leicht zu erklären, da die Diffusion eines Gases bei einem festen, trockenen Gestein grösseren Schwierigkeiten begegnen wird, als bei dessen Zersetzungsprodukt.

Durch diesen Versuch ist jedenfalls deutlich erwiesen, dass die radioaktiven Bestandteile des Zersetzungsproduktes bereits im Muttergestein enthalten sind, dass die im Boden enthaltenen Emanationen also an Ort und Stelle entstehen und nicht von tieferen Schichten oder von Atmosphärilien dorthin verpflanzt sind, wodurch ein teilweises Diffundieren nach der Oberfläche natürlich nicht in Abrede zu stellen ist. Elster und Geitel[1])

[1]) Elster und Geitel, Phys. Ztschr. 5, 1904, pg. 14.

hatten auch Muttergesteine von Tonen, Tonschiefer und Grauwacke untersucht, aber keine Aktivität nachweisen können. Sie schrieben dies dem Umstande zu, dass die am stärksten ionisierend wirkenden α-Strahlen im festen Gestein, sei es auch noch so klein zermahlen, absorbiert würden und dass die Abgabe von Emanation erst nach erfolgter Hydratbildung stattfinde. Dies mag zutreffend sein, vielleicht auch beim letzten Kaolinversuch (Anfeuchten) mitgewirkt haben. Der eben untersuchte Porphyr war jedoch frisch gebrochen und stammte aus der Tiefe des Steinbruchs, also aus massivem Gestein, bis zu welchem die Verwitterung noch nicht fortgeschritten war.

5. Muschelkalk.

$6^1/_4$ kg Muschelkalk aus den Bänken des Hauptmuschelkalkes des Bruches der Nietlebener Zementfabrik wurden mittelst eines Hammers so gut wie möglich zerkleinert. Das Gestein war teils tonig und mürbe, teils kristallinisch hart.

Expositionsdauer: 4 Tage 18 Std.

Potential des Drahtes: 700—680 Volt.

Elektrometerempfindlichkeit: 1 Volt = 120,8 Sktl.

Der zu Anfang beobachtete zu grosse Wert ist wahrscheinlich wieder auf eine nach dem Vorversuch erfolgte Zunahme der spontanen Zerstreuung zurückzuführen. (cf. Figur 2, Kurve 4.)

Kurz vor Herausnahme des Drahtes betrug die Radiumemanationsmenge das 8427fache der Thoremanation.

Der Sättigungsstrom betrug:

$0{,}0_6149$ · Mikroampere.

Tabelle XI (Figur 14.)

Zeit	korrigierte Ablesungen	spontane Zerstreuung im Zylinder	Aktivierung durch atmos. Luft	Aktivierung durch Muschelkalk	berechnete Thorkurve	Wirkung des Muschelkalk ohne Thor	berechnete Radiumkurve	berechnete Kurve für Ra + Th
0					47,79		57,3	105,09
10 m.	329,8	149,8	17,7	162,3	47,7	114,5	35,5	84,1
20 m.	120,6	25,7	16,3	78,6	47,7	30,9	30,7	78,4
30 m.	111,3	20,5	14,5	76,3	47,5	28,8	26,9	74,4
40 m.	100,3	18,4	12,6	69,3	47,4	21,9	23,1	70,5
50 m.	97,0	18,4	10,8	67,8	47,2	20,6	19,5	66,7
1 h.	94,2	18,4	9,1	66,7	46,9	19,8	16,2	63,1
1 h. 10 m.	81,2	18,0	7,6	55,6	46,7	18,9	13,3	60,0
1 h. 20 m.	80,8	18,0	6,3	56,5	46,4	10,1	10,8	57,2
1 h. 30 m.	78,7	18,0	5,2	55,5	46,1	9,4	8,8	54,9
1 h. 40 m.	77,7	18,0	4,2	55,5	45,7	9,8	7,0	52,7
1 h. 50 m.	72,0	18,0	3,4	50,6	45,4	5,2	5,6	51,0
2 h.	68,0	18,0	2,8	47,2	45,0	2,2	4,5	49,5
2 h. 10 m.	67,7	18,0	2,3	47,4	44,7	2,7	3,5	48,2
2 h. 20 m.	65,6	18,0	1,9	45,7	44,3	1,4	2,8	47,1
2 h. 30 m.	62,3	18,0	1,5	42,8	43,9	(— 1,1)		43,9
3 h. 30 m.	58,1	18,0		40,1	41,5			41,5
4 h. 30 m.	55,0	18,0		37,0	39,1			39,1
7 h.	51,5	18,0		33,5	33,5			33,5
9 h. 37 m.	46,5	18,0		28,5	28,5			28,5
21 h. 45 m.	33,0	18,0		15,0	13,3			13,3
26 h. 45 m.	27,5	18,0		9,5	9,7			9,7
32 h. 52 m.	24,7	18,0		6,7	6,6			6,6
46 h. 30 m.	21,6	18,0		3,6	2,8			2,8

6. Sand.

Ganz feiner weisser Quarzsand (Tertiär), welcher aus einer Sandgrube bei Lieskau stammte, wurde 3 Stunden, nachdem er dieser entnommen war in die Röhre getan.

Expositionsdauer: 2 Tage 19 Std.
Potential des Drahtes: 680—670 Volt.
Empfindlichkeit: 1 Volt = 120,8 Sktl.

Wie aus der Tabelle XII hervorgeht, besitzt der Sand nur eine geringe Thoraktivität, während die schwache Radiumstrahlung ebenso gut als Wirkung der atmosphärischen Luft anzusehen ist.

Der Sättigungsstrom berechnet sich auf:
$0{,}0_7 28$ Mikroampere.

Tabelle XII.

Zeit	Ablesungen	spontane Zerstreuung im Zylind.	Ablesungen vermind. um die spont. Z.	berechnete Thorkurve	ohne Thor bleibt	Aktivierung durch atm. Luft bei geringem Emanationsgehalt
0				20,0		13,3
10 m	261,9	235,0	26,9	20,0	6,9	13,0
20 m	60,0	29,8	30,2	20,0	10,2	12,0
30 m	53,0	22,7	30,3	19,9	10,4	10,6
40 m	49,7	20,2	29,5	19,8	9,7	9,3
50 m	47,3	19,8	27,5	19,7	7,8	7,9
1 h	44,0	18,3	25,7	19,6	6,1	6,6
1 h. 10 m.	41,0	17,7	23,3	19,5	3,8	5,5
1 h. 20 m.	41,5	17,6	23,9	19,4	4,5	4,6
1 h. 30 m.	36,0	17,5	18,5	19,3	—0,8	3,7
1 h. 40 m.	36,1	17,4	18,7	19,2	—0,5	3,1
1 h. 50 m.	35,3	17,0	18,3	19,0	—0,7	2,5
2 h.	36,8	16,5	20,3	18,8	1,5	2,0
2 h. 10 m.	34,1	16,1	18,0	18.7	— 0,7	1,6
2 h. 20 m.	37,0	16,1	20,9	18,5	2,4	1,3
2 h. 30 m.	33,3	16,1	17,2	18,4		
3 h.	33,5	16,0	17,5	17,9		
4 h. 1 m.	33,3	16,0	17,3	16,9		
8 h. 40 m.	29,4	16,0	13,4	12,7		
10 h. 5 m.	26,4	16,0	10,4	11,5		
10 h. 12 m.	25,1	16,0	9,1	11,3		
25 h.	19,0	16,0	3,0	4,5		
28 h. 54 m.	22,6	16,0	6,6	3,7		
55 h. 28 m.	20,5	16,0	4,5	0,66		

7. Löss.

Der Löss wurde aus einem Aufschluss beim Bahnhof Salzmünde genommen. Da er in einer Wand anstand, konnte leicht ganz frisches Material aus dem Innern beschafft werden. 19 Stunden später befand er sich in der Zinkröhre ausgebreitet.

Expositionsdauer: 2 Tage 22 Std.
Potential des Drahtes: 670 Volt.
Empfindlichkeit: 120,8 Sktl. pro Volt.

Auch bei diesem Versuch wird die gute Uebereinstimmung am besten durch die Figur erläutert.

Es ist interessant, dass in einer rein äolischen Bildung beide Radioelemente, Radium und Thor, vorkommen.

Tabelle XIII. (Figur 15.)

Zeit	korrig. Ablesungen	spontane Zerstreuung im Zylind.	Aktivierung durch atm. Luft	Wirkung des Löss	berechnete Thorkurve	Wirkung des Löss ohne Thor	berechnete Radiumkurve	berechnete Kurve von Ra + Th.
0					162,28		107,3	269,58
10 m.	441,1	172,6	17,7	250,8	162,2	88,6	66,5	228,7
20 m.	256,2	24,6	16,3	215,3	161,9	53,4	57,5	219,4
30 m.	241,6	19,0	14,5	208,1	161,4	46,7	50,4	211,8
40 m.	234,2	16,4	12,6	205,2	160,9	44,3	43,3	204,2
50 m.	223,1	15,0	10,8	197,3	160,1	37,2	36,5	196,6
1 h.	214,1	15,6	9,1	189,4	159,3	30,1	30,3	189,6
1 h. 10 m.	204,2	16,0	7,6	180,6	158,4	22,2	24,9	183,3
1 h. 20 m.	200,2	16,0	6,3	177,9	157,5	20,4	20,3	177,8
1 h. 30 m.	198,8	16,0	5,2	177,6	156,4	21,2	16,4	172,8
1 h. 40 m.	189,1	16,0	4,2	168,9	155,3	13,6	13,2	168,5
1 h. 50 m.	187,5	16,0	3,4	168,1	154,1	14,0	10,5	164,6
2 h.	180,7	16,0	2,8	161,9	152,9	9,0	8,4	161,3
2 h. 10 m.	175,5	16,0	2,3	157,2	151,6	5,6	6,6	158,2
2 h. 20 m.	171,8	16,0	1,9	153,9	150,4	3,5	5,3	155,7
3 h.	164,9	16,0	0,7	148,2	145,1	3,1	2,0	147,1
4 h.	155,8	16,0		139,8	137,0	2,8	0,5	137,5
6 h.	136,7	16,6		120,7	121,2			121,2
8 h. 15 m.	119,4	16,0		103,4	105,3			105,3
10 h. 19 m.	110,1	16,0		94,1	92,5			92,5
22 h. 39 m.	58,1	16,0		42,1	42,5			42,5
29 h. 3 m.	42,8	16,0		26,8	28,4			28,4
32 h. 13 m.	41,2	16,0		25,2	23,2			23,2
33 h. 39 m.	36,7	16,0		20,7	21,3			21,3
48 h. 30 m.	24,1	16,0		8,1	8,3			8,3

Das Verhältnis der Radiumemanation zur Thoremanation berechnet sich nach diesem Versuch auf:

4645 : 1.

Der Sättigungsstrom betrug

$0{,}0_6381$ Mikroampere.

8. Braunkohle.

Braunkohle aus dem Carl Ernst-Schacht bei Trotha wurde 1 Tag, nachdem sie zu Tage gefördert war, in die Röhre getan.

Expositionsdauer: 6 Tage.

Potential: 680 Volt.

Empfindlichkeit: 1 Volt = 122,1 Sktl.

Tabelle XIV (Figur 16.)

Zeit	korrigierte Ablesungen	spontane Zerstreuung im Zylinder	Aktivierung durch atmos. Luft	Wirkung der Kohle	berechnete Thorkurve	Wirkung der Kohle ohne Thor	berechnete Radiumkurve	berechnete Kurve von Ra + Th
0					22,0		183,2	205,2
15 m.	215,2	76,0	17,0	122,2	22,0	100,2	104,7	126,7
20 m.	182,7	54,3	16,3	112,1	21,9	90,2	98,2	120,1
30 m.	160,4	40,3	14,5	105,6	21,9	83,7	86,0	107,9
40 m.	144,6	35,0	12,6	97,0	21,8	75,2	73,9	95,7
50 m.	123,2	33,4	10,8	79,0	21,7	57,3	62,3	84,0
1 h.	112,3	32,0	9,1	71,2	21,6	49,6	51,8	73,4
1 h. 10 m.	102,0	31,0	7,6	63,4	21,5	41,9	42,6	64,1
1 h. 20 m.	90,1	30,0	6,3	53,8	21,4	32,4	34,7	56,1
1 h. 30 m.	85,0	30,0	5,2	49,8	21,2	28,6	28,0	49,2
1 h. 40 m.	77,2	29,0	4,2	44,0	21,0	23,0	22,5	43,5
1 h. 50 m.	73,1	29,0	3,4	40,7	20,9	19,8	18,0	39,9
2 h.	69,0	29,0	2,8	37,2	20,7	16 5	14,3	35,0
2 h. 10 m.	64,2	29,0	2,3	32,9	20,6	12,3	11,3	31,9
2 h. 40 m.	58,9	29,0	1,2	28,7	20,0	8,7	5,6	25,6
2 h. 50 m.	54,0	29,0	0,9	24,1	19,9	4,2	4,4	24,3
4 h. 5 m.	47,0	27,0		20,0	18,6	1,4	0,8	19,4
4 h. 20 m.	45,7	27,0		18,7	18,5			18,5
6 h. 30 m.	40,1	26,0		14,1	15,9			15,9
6 h. 40 m.	39,0	26,0		13,0	15,8			15,8
18 h. 30 m.	26,7	20,0		6,7	7,4			7,4
18 h. 50 m.	26,8	20,0		6,8	7,4			7,4
27 h. 30 m.	28,3	20,0?		8,3	4,2			4,2
27 h. 40 m.	27,7	20,0?		7,7	4,2			4,2

2. Versuch. Unmittelbar nach dem ersten Versuch wurde ein zweiter angestellt. Die Kohle lag noch seit dem ersten Versuch im Rohr.

Expositionsdauer: 4 Tage.
Potential: 680 Volt.
Empfindlichkeit: 1 Volt — 122,0 Sktl.

Beide Versuche ergaben das Vorhandensein von Radium und Thor. Während aber bei allen bisherigen Versuchen die induzierte Thoraktivität überwog, ist es hierbei umgekehrt, der weitaus grösste Anteil an der Ionisation kommt den Zerfallsprodukten des Radium zu. Aus den Beobachtungsergebnissen berechnet sich das Mengenverhältnis beider Emanationen,

Rad Em : Th Em = 58524 : 1 resp. 48198 : 1.

Tabelle XV (Figur 17.)

Zeit	korrigierte Ablesungen	spontane Zerstreuung im Zylinder	Aktivierung durch atmos. Luft	Wirkung der Kohle	berechnete Thorkurve	Wirkung der Kohle ohne Thor	berechnete Radiumkurve	berechnete Kurve für Ra + Th
0					24,17		165,7	189,87
15 m.	187,8	54,4	12,5	120,9	24,1	96,8	94,7	118,8
25 m.	143,4	30,4	11,3	101,7	24,1	77,6	83,3	107,4
35 m.	123,8	25,9	9,9	88,0	24,0	64,0	72,3	96,3
45 m.	114,3	22,0	8,6	83,7	23,9	59,8	61,5	85,4
55 m.	106,0	22,0	7,3	76,8	23,8	53,0	51,5	75,3
1 h. 5 m.	90,3	20,0	6,0	74,3	23,7	50,6	42,5	66,2
1 h. 15 m.	85,2	20,0	5,5	60,2	23,5	36,7	34,8	58,3
1 h. 25 m.	74,3	20,0	4,2	50,1	23,4	26,7	28,2	51,6
1 h. 35 m.	70,6	20,0	3,4	47,2	23,2	24,0	22,7	45,9
1 h. 45 m.	66,2	20,0	2,8	43,4	23,0	20,4	18,2	41,2
2 h.	57,3	20,0	2,0	35,3	22,8	12,5	13,0	35,8
2 h. 15 m.	53,5	20,0	1,4	32,1	22,5	9.6	9,1	31,6
2 h. 30 m.	48,2	20,0	1,0	27,2	22,2	5,0	6,4	28,6
4 h.	40,4	20,0		20,4	20,4			20,4
5 h. 30 m.	39,2	20,0		19,2	18,6			18,6
5 h. 37 m.	39,7	20,0		19,7	18,5			18,5
8 h. 33 m.	38,0	20,0		18,0	15,4			15,4
8 h. 40 m.	39,3	20,0		19,3	15,4			15,4
24 h. 45 m.	25,7	18,5		7,2	5,5			5,5
24 h. 55 m.	25,2	18,5		6,7	5,5			5,5
33 h. 30 m.	26,5	21,0		5,5	3,2			3,2
49 h. 25 m.	23,4	21,0		2,4	1,2			1,2

Der Sättigungsstrom betrug in beiden Fällen:
$0{,}0_6287$ Mikroampere
bezw. $0{,}0_6266$ „

IV. Zusammenfassung der Resultate.

Die Untersuchungen über die Radioaktivität des Erdbodens, welche ich im Physikalischen Institut der Universität angestellt habe, hatten folgendes Ergebnis:

Die untersuchten Bodenarten enthalten mit Ausnahme von Sand, bei welchem ich nur Thoremanation nachweisen konnte,

alle sowohl Radium- als auch Thoremanation. Die Aktivität hat ihren Sitz im Boden selbst und ist auch schon im Muttergestein vorhanden, nicht erst im Verwitterungsprodukt [1]).

Tabelle XVI.

Art der Bodenprobe	Fundort	Alter bei Beginn der Exposition des Drahtes	Expositionsdauer des Drahtes	Mengenverhältnis der Radium- zur Thoremanat.	Sättigungsstrom in Mikroampere bezogen auf die Zeit t = o
Kaolin	Dölau, Kaolingrube der Porzellanfabrik von Baensch	20 Std.	49 Std.	3672 : 1	$0{,}0_5132$
		40 Tage	4 Tage	3050 : 1	$0{,}0_6320$
		über 2 Monate	8 Tage	3821 : 1	$0{,}0_5120$
Porphyr	Trebitz a. Petersberg, Porphyrwerk am Bahnübergang	vor 4 Tagen gebrochen	91 Std.	4457 : 1	$0{,}0_6864$
Ton (Letten)	Nietleben, Grube der Ziegelei von Lincke & Ströfer	6 Std.	65 Std.	9363 : 1	$0{,}0_6961$
		10 Tage	7 Tage 17 Std.	12692 : 1	$0{,}0_5123$
		$3^1/_2$ Monate	69 Std.	11686 : 1	$0{,}0_5103$
Gartenerde	Garten des Phys. Instit.	1 Tag	7 Tage	7240 : 1	$0{,}0_6396$
		8 Tage	75 Std.	7507 : 1	$0{,}0_6405$
		über 3 Monate	7 Tage	10393 : 1	$0{,}0_6422$
Löss	Bahnhof Salzmünde	19 Std.	70 Std.	4645 : 1	$0{,}0_6381$
Braunkohle	Trotha, Carl Ernst-Schacht	1 Tag	6 Tage	58524 : 1	$0{,}0_6287$
		7 Tage	4 Tage	48198 : 1	$0{,}0_6266$
Muschelkalk	Nietleben, Muschelkalk-Bruch	1 Tag	114 Std.	8427 : 1	$0{,}0_6149$
Sand	Lieskau, Sandgrube	3 Std.	67 Std.	0 : 1	$0{,}0_728$

[1]) Elster und Geitel, Phys. Z. 5, 1904, pg. 14.

Das Mengenverhältnis der beiden Emanationen ist je nach der Art des Gesteines verschieden, doch ist stets in überwiegendem Masse Radiumemanation anwesend. Am grössten war dieses Verhältnis bei Braunkohle, am geringsten bei Kaolin und seinem Muttergestein, Porphyr, wenn wir von Sand absehen. Immerhin ist die Thoraktivität ganz beträchtlich, was besonders bei der Wirkung des aktiven Niederschlages deutlich in Erscheinung tritt. Dadourian und Blanc hatten den Anteil des Thor an der aktivierenden Wirkung der atmosphärischen Luft, gemessen an der Wirkung von RaC und Th B und ThC, auf 25—40 % beziehungsweise auf 50—70 % angegeben und daraus auf eine beträchtliche Verbreitung der Thoremanation geschlossen. Bei meinen Beobachtungen betrug der Anteil der Thorstrahlung an der Gesamtwirkung der aktivierten Drähte (abzüglich RaA, dagegen unter Berücksichtigung von RaB!) 48—79 %, wobei das extreme Verhalten der Braunkohle (17 %) und des Sandes (100 %) als Ausnahme angesehen wird. Dass bei mir dieses Verhältnis ein grösseres ist als bei Dadourian und Blanc. ist erklärlich, da meine Drähte unmittelbar über den Emanation abgebenden Bodenproben ausgespannt waren, also ein grösserer Prozentsatz der Thoremanation zur Geltung kommen konnte.

Durch Befeuchten des Bodens wird die Emanationsabgabe anscheinend begünstigt.

Zum Schluss sei es mir gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr E. Dorn für die mir zuteil gewordene liebenswürdige Anregung und Unterstützung bei Ausführung dieser Arbeit meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Fig. 1

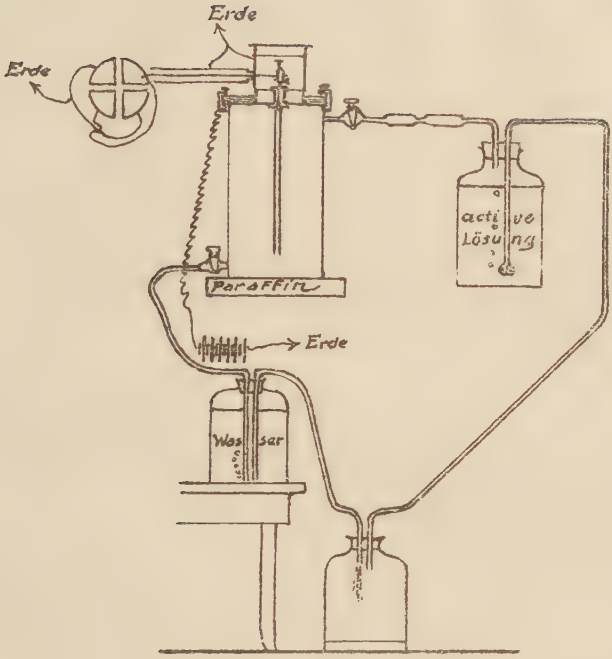
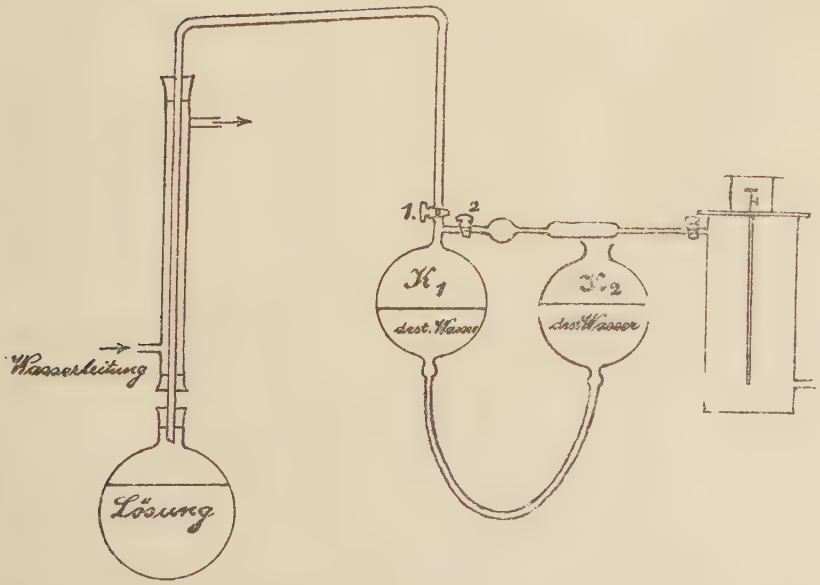

Erde
Erde
active Lösung
Paraffin
Erde
Wasser

Fig. 3


1.
2
K_1
dest. Wasser
K_2
dest. Wasser
Wasserleitung
Lösung

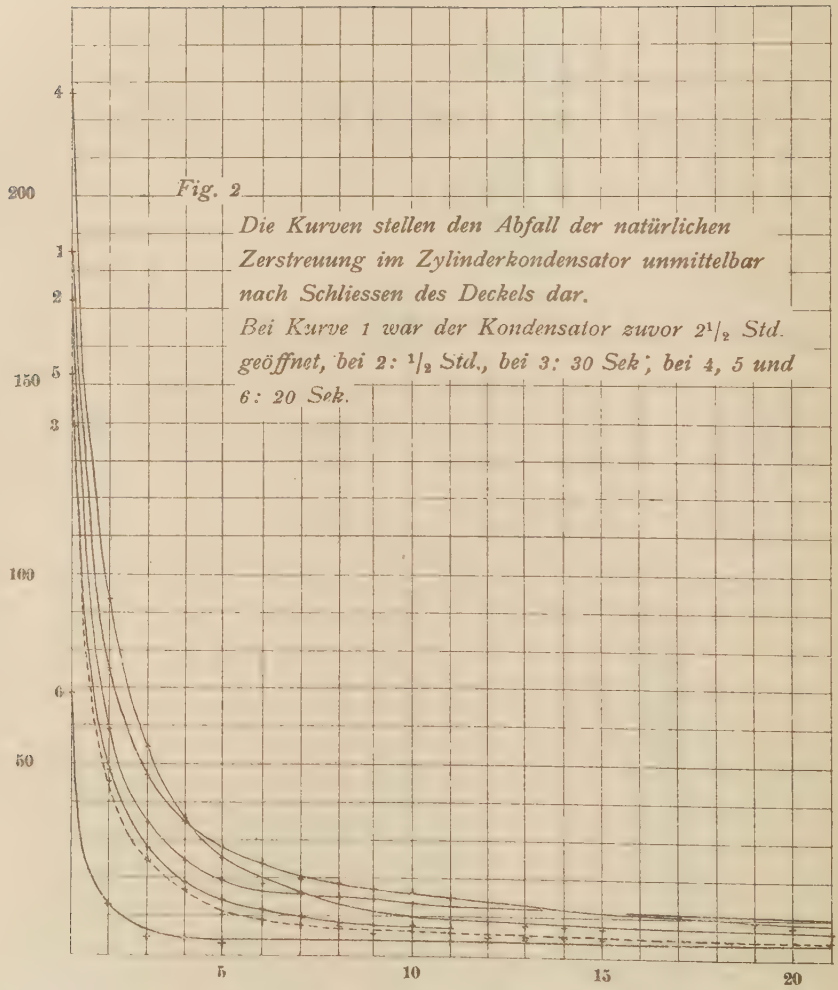


Fig. 2

Die Kurven stellen den Abfall der natürlichen Zerstreuung im Zylinderkondensator unmittelbar nach Schliessen des Deckels dar.

Bei Kurve 1 war der Kondensator zuvor $2^1/_2$ Std. geöffnet, bei 2: $^1/_2$ Std., bei 3: 30 Sek, bei 4, 5 und 6: 20 Sek.

Fig. 4 (Tab. I.)

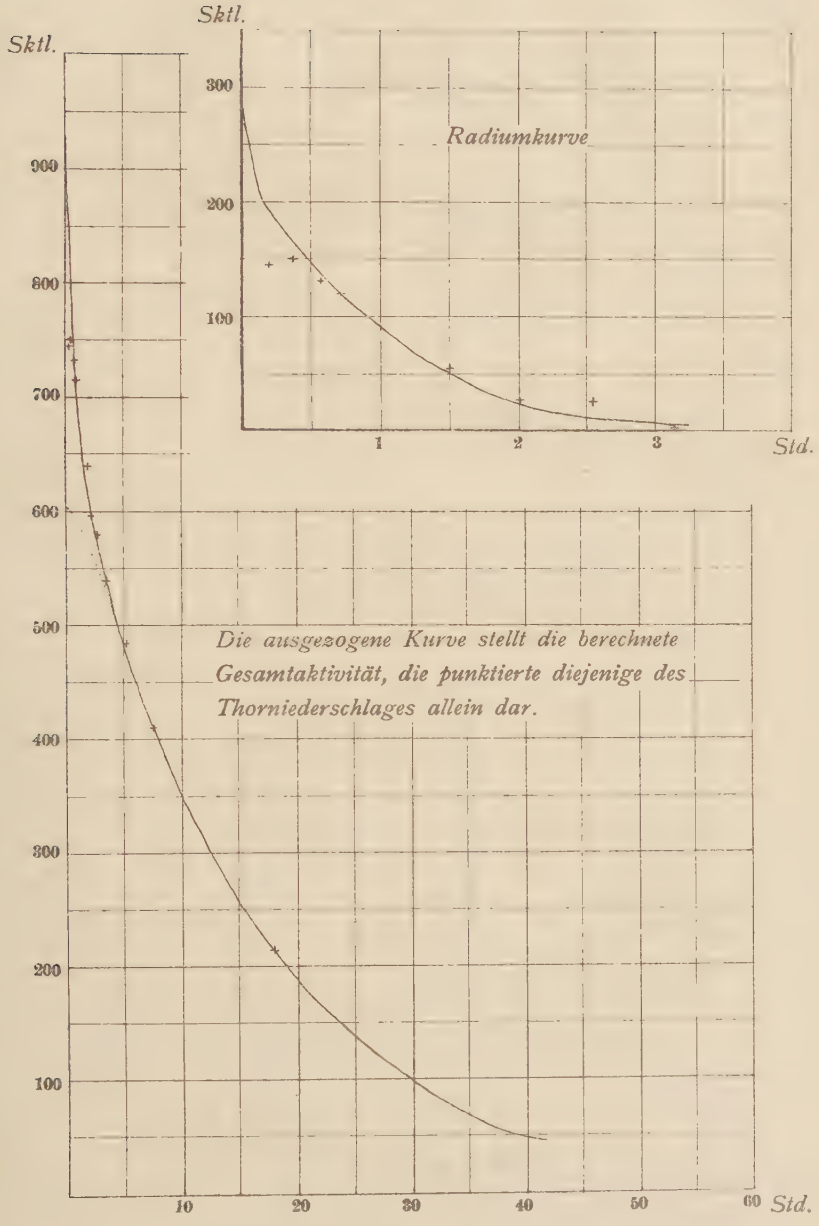
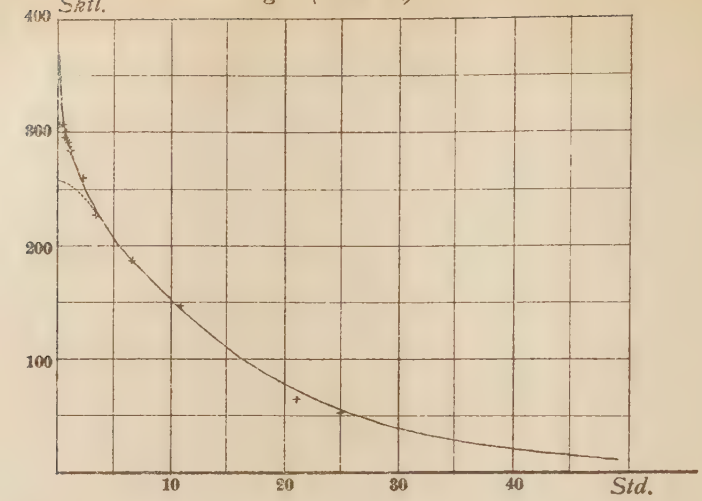

Sktl.
Sktl.
300
200
100
Radiumkurve
1
2
3
Std.
900
800
700
600
500
400
300
200
100
Die ausgezogene Kurve stellt die berechnete Gesamtaktivität, die punktierte diejenige des Thorniederschlages allein dar.
10
20
30
40
50
60
Std.

Fig. 5 (Tab. II.)



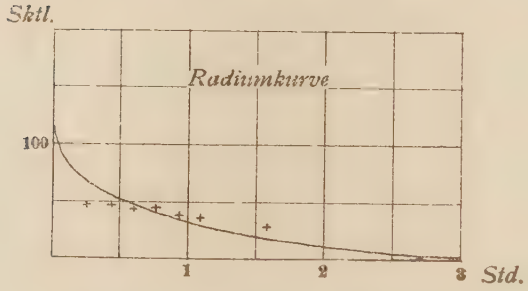
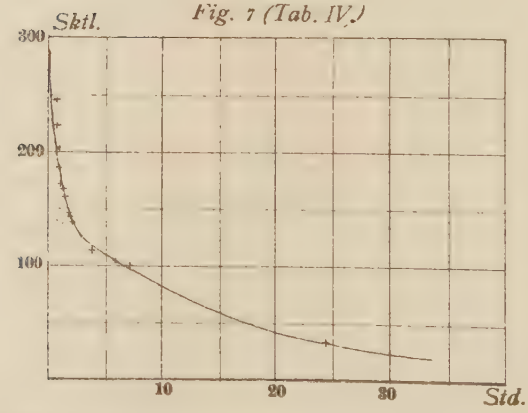


Fig. 7 (Tab. IV.)



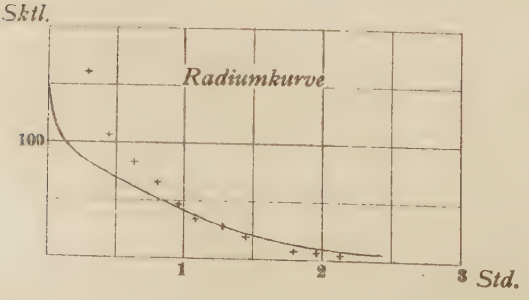


Fig. 6 (Tab. III.)

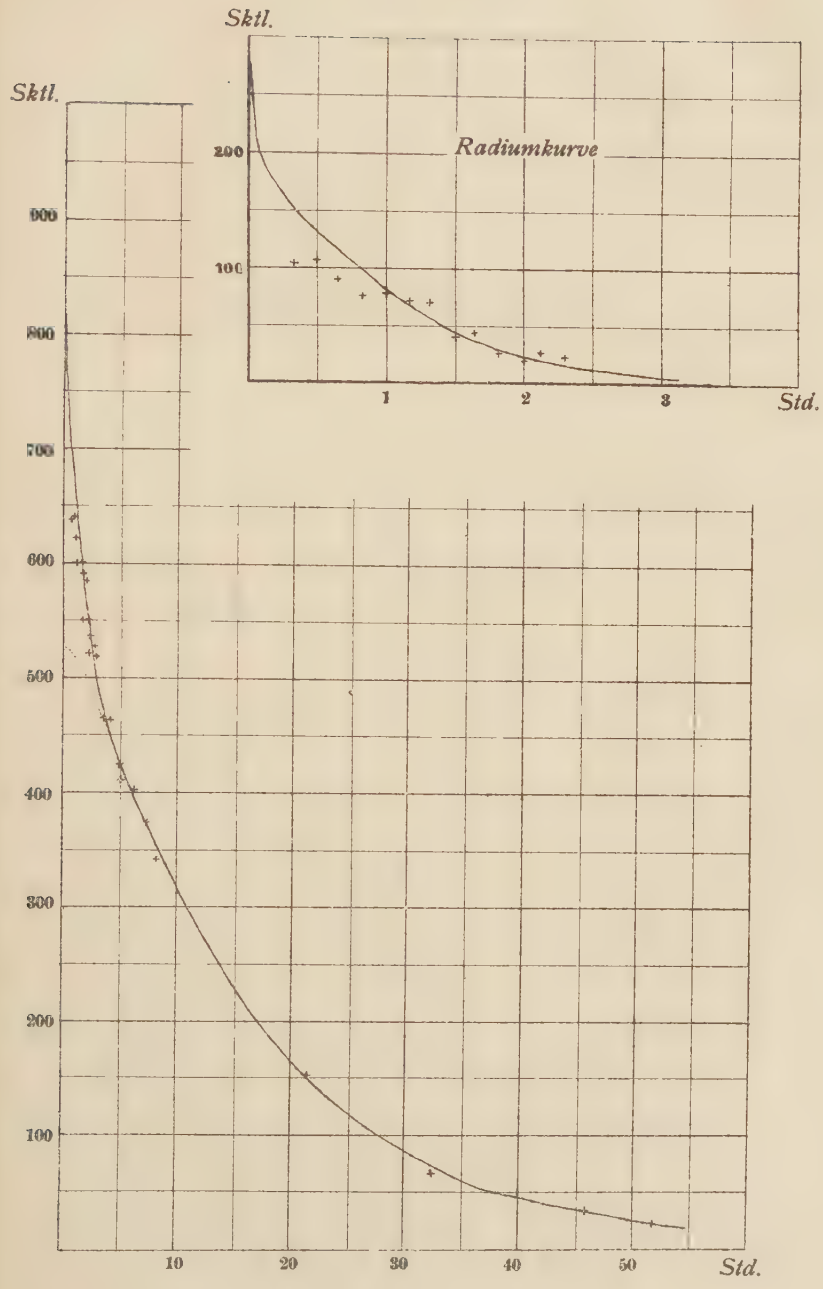
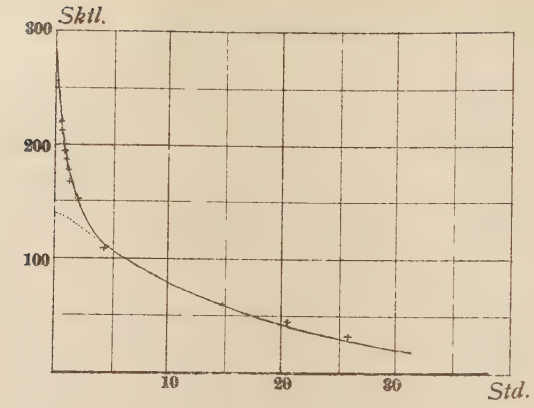

Sktl.
Radiumkurve
200
100
1
2
3
Std.
Sktl.
900
800
700
600
500
400
300
200
100
10
20
30
40
50
Std.

Fig. 8 (Tab. V.)



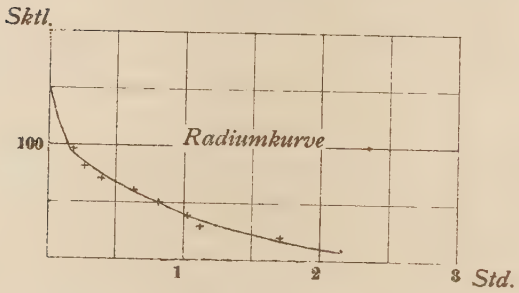
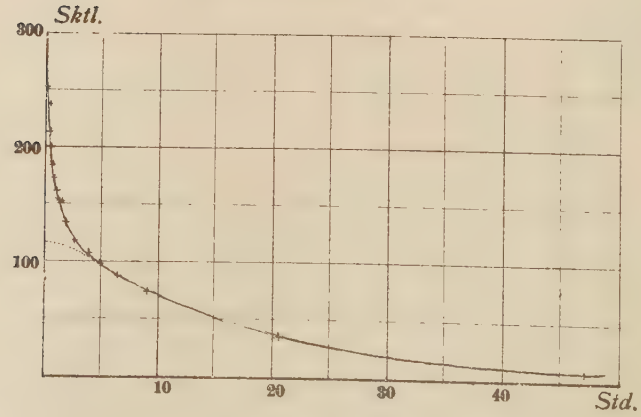


Fig. 9 (Tab. VI.)



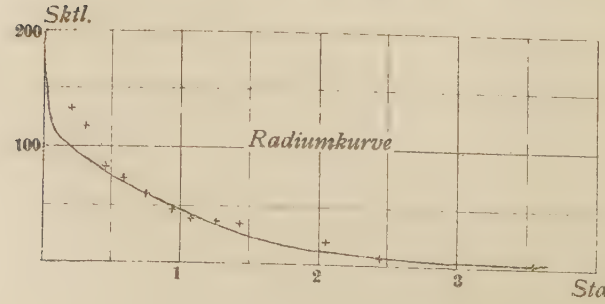


Fig. 10 (Tab. VII.)

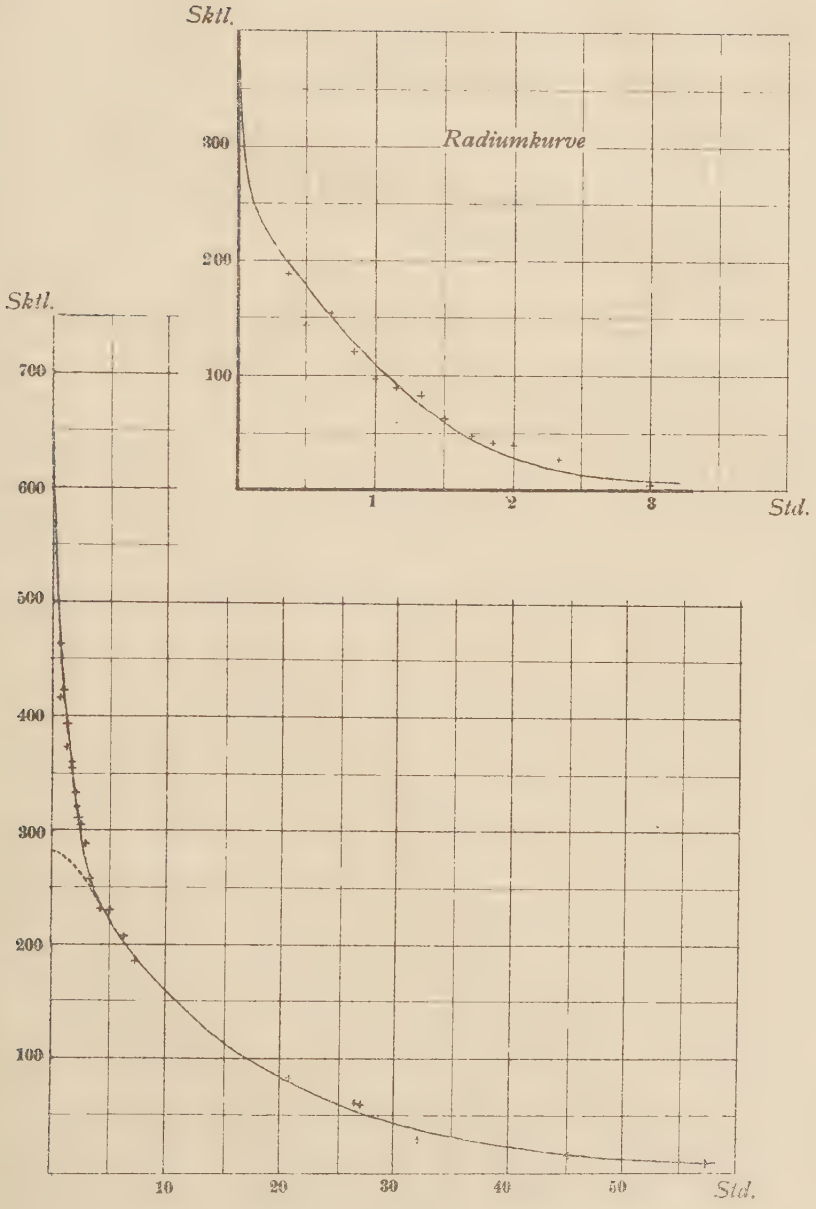


Fig. 11 (Tab. VIII.)

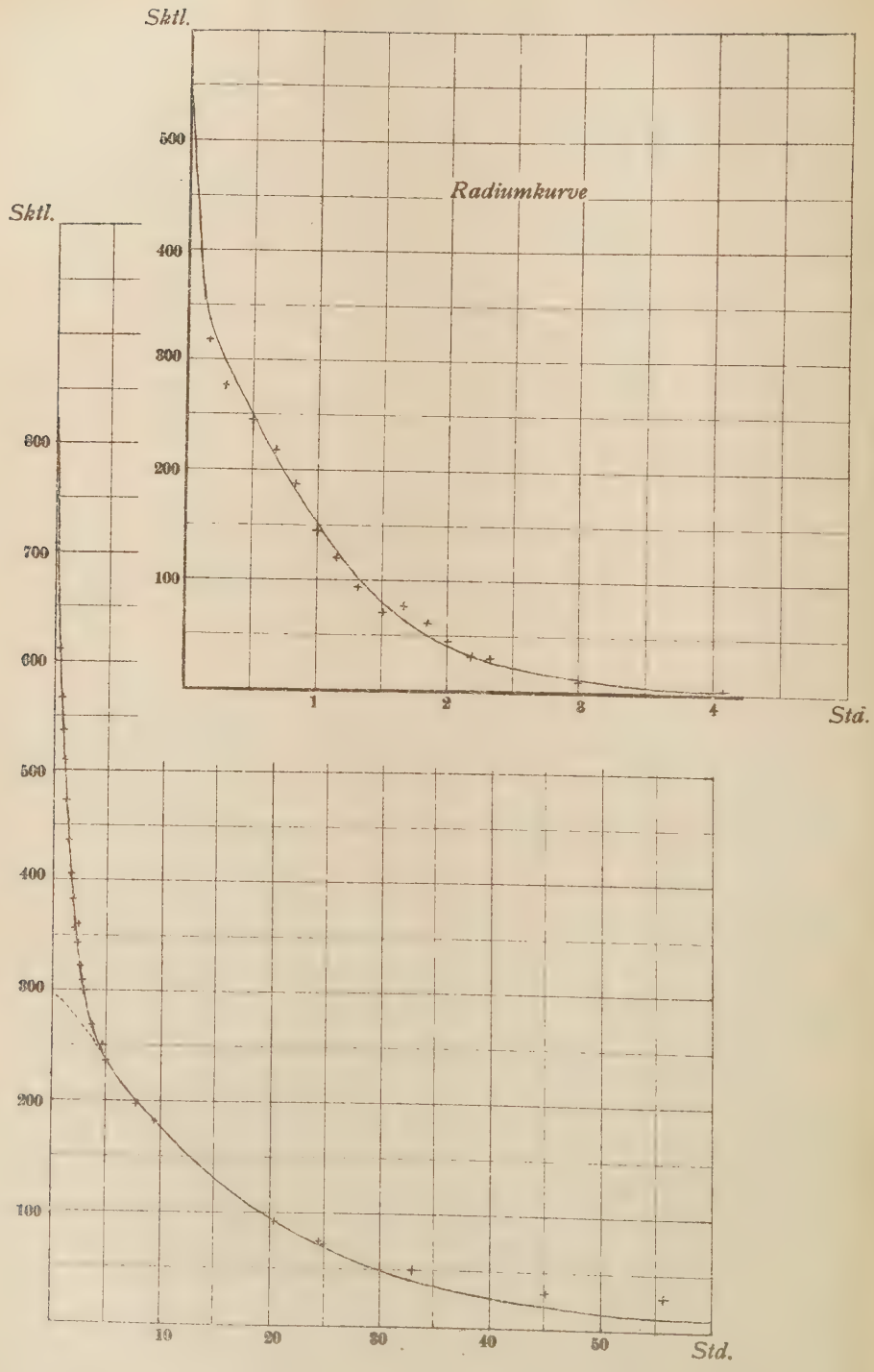


Fig. 12 (Tab. IX.)

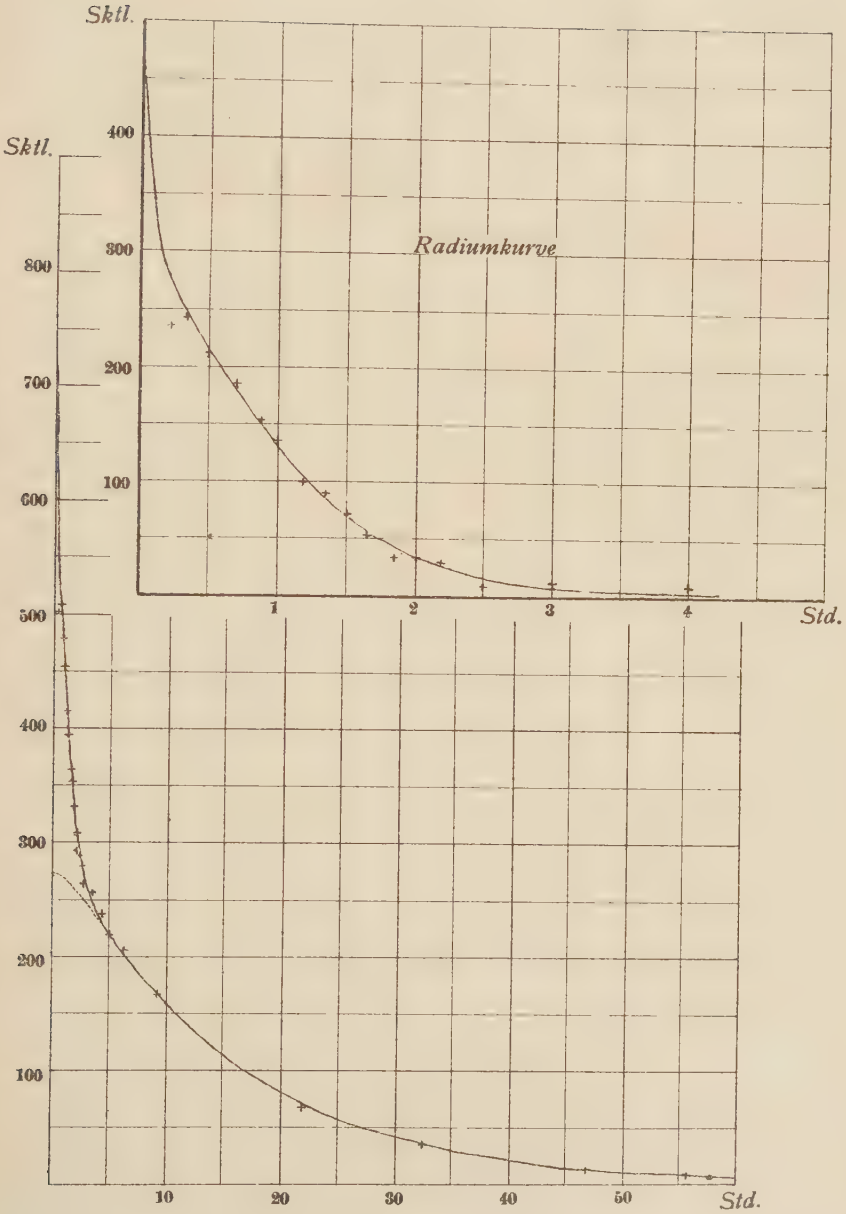
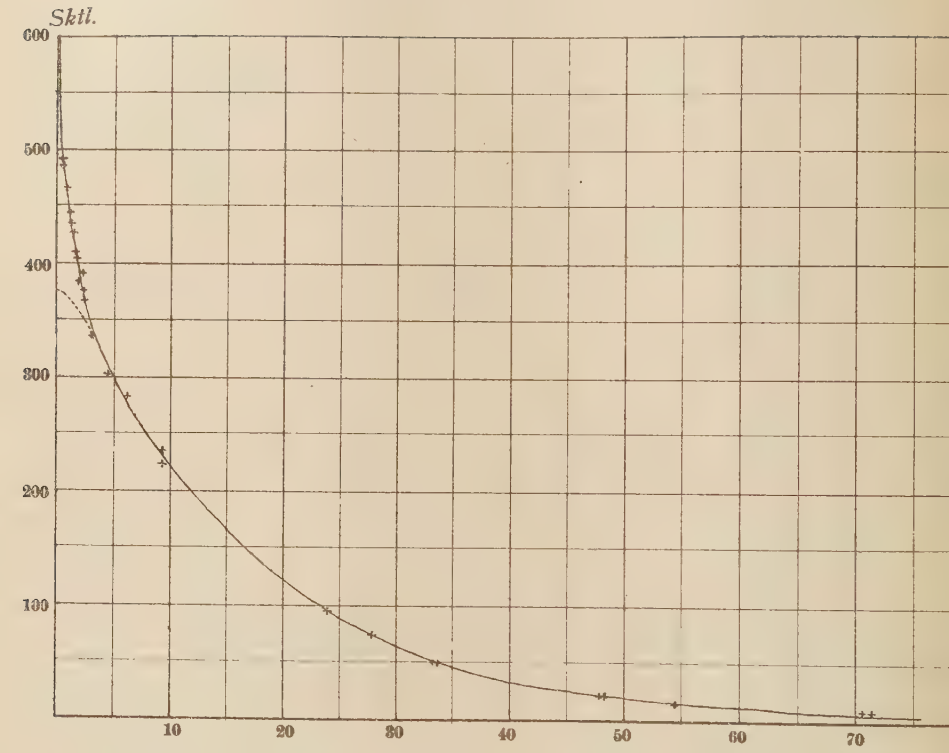

Sktl.
400
300
200
100
Radiumkurve
1
2
3
4
Std.
Sktl.
800
700
600
500
400
300
200
100
10
20
30
40
50
Std.

Fig. 13 (Tab. X.)


Sktl.
600
500
400
300
200
100
10
20
30
40
50
60
70

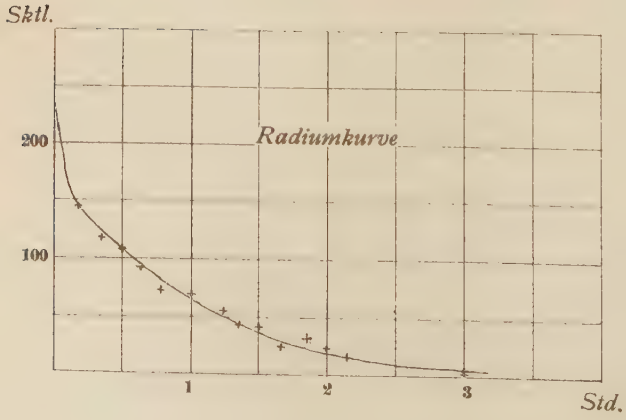
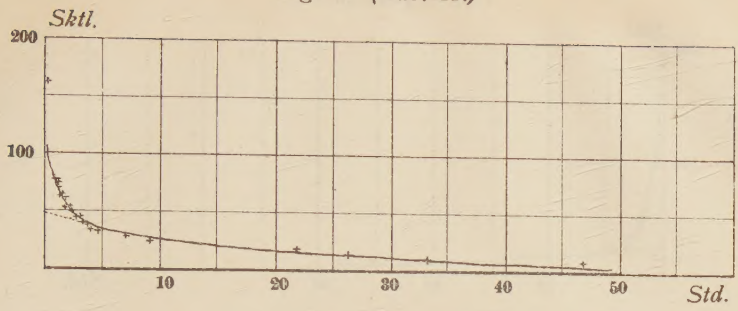

Sktl.
200
100
Radiumkurve
1
2
3
Std.

Fig. 14 (Tab. XI.)



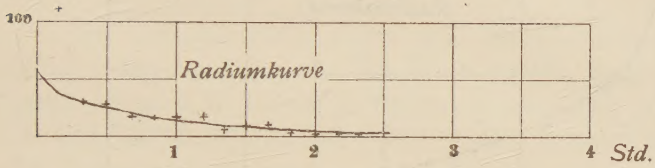
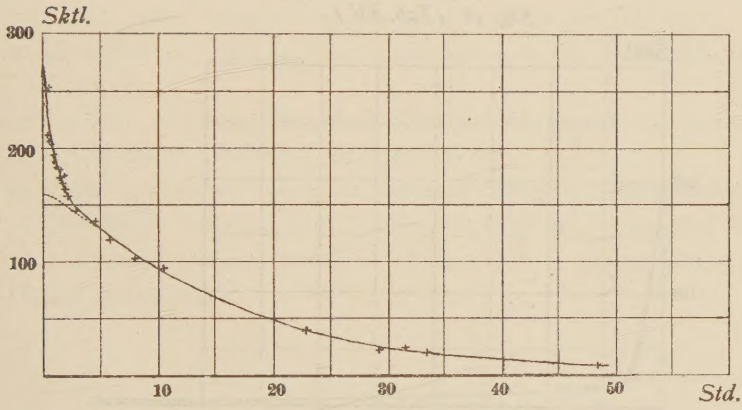


Fig. 15 (Tab. XIII.)



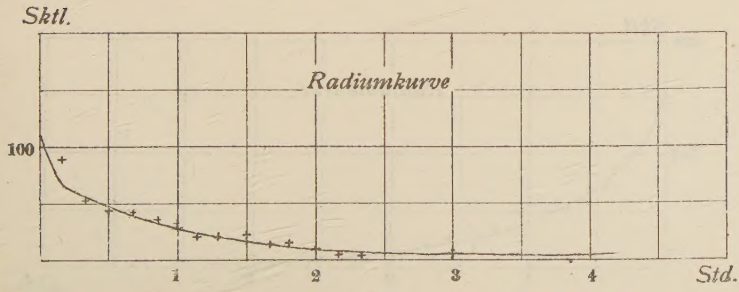
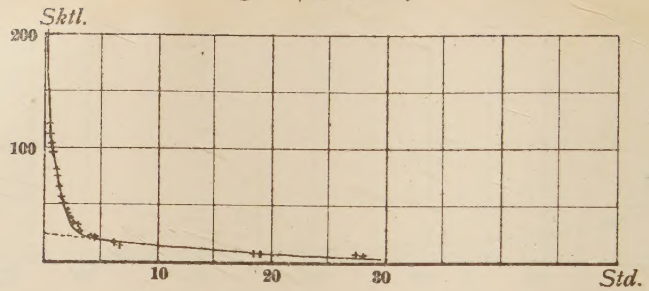


Fig. 16 (Tab. XIV.)



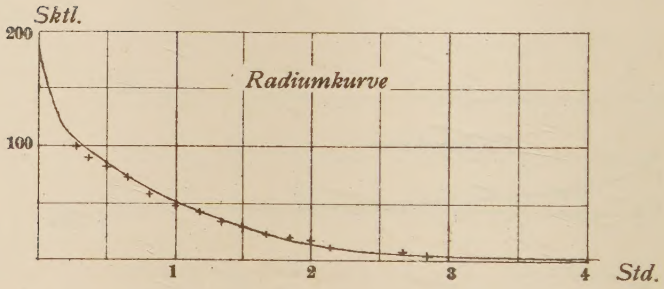
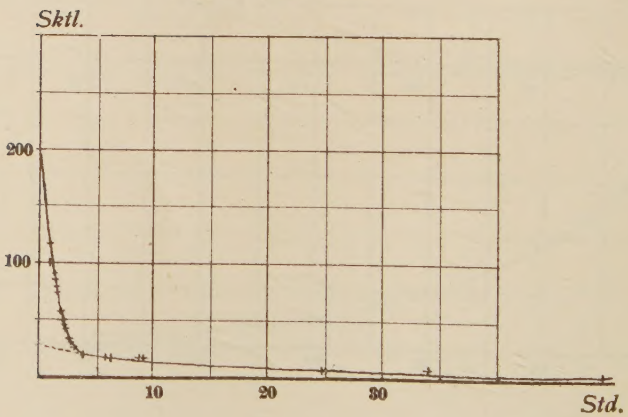
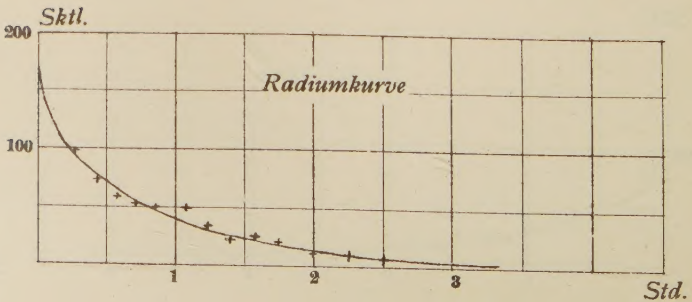


Fig. 17 (Tab. XV.)





Lebenslauf.

Am 12. Juli 1884 wurde ich, Felix Gerhard Johannes Alfred Gube als Sohn des Kaufmanns Felix Gube und seiner Gattin Minna geb. David zu Ratibor in Schlesien geboren. Ich bin katholischer Konfession. Von Ostern 1890 ab besuchte ich vier Jahre die Volksschule meiner Vaterstadt und absolvierte dann ebendaselbst das Königl. Gymnasium, welches ich Ostern 1903 mit dem Zeugnis der Reife verliess. Seitdem widmete ich mich auf den Universitäten München, Leipzig und Halle-Wittenberg dem Studium der Mathematik und Naturwissenschaften. Vorlesungen und Übungen belegte ich bei folgenden Herren:

in München: v. Bissing, Brunn, Giesenhagen, K. Hofmann, Lipps, Röntgen;

in Leipzig: Bruns, Hausdorff, Hölder, Liebmann, K. Neumann, v. Oettingen, Ostwald, Wiener, Wundt;

in Halle: Brückner, Dorn, Ebbinghaus, Fries, Gutzmer, Luedecke, Philippson, Scupin, Ule, Vaihinger, Walther, Wangerin, Wüst.

Diesen meinen verehrten Lehrern bin ich zu dauerndem Danke verpflichtet.